

JEAN CORREIA

**MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA FLORESTAS
SECUNDÁRIAS DO LITORAL DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Recursos Genéticos Vegetais da
Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito para
obtenção do título de Mestre em
Ciências, área de concentração em
Recursos Genéticos Vegetais.

Orientador: Dr. Alfredo Celso
Fantini

Florianópolis - SC
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Correia, Jean

Modelos volumétricos para florestas secundárias do
litoral de Santa Catarina / Jean Correia ; orientador,
Alfredo Celso Fantini - Florianópolis, SC, 2015.
99 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-
Graduação em Recursos Genéticos Vegetais.

Inclui referências

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Volumetria. 3.
Manejo Florestal. 4. Mata Atlântica. 5. Florestas
Secundárias. I. Fantini, Alfredo Celso. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Recursos Genéticos Vegetais. III. Título.

Modelos volumétricos para florestas secundárias do litoral de Santa Catarina

por

Jean Correia

Dissertação julgada e aprovada em 25/02/2015, em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração Recursos Genéticos Vegetais, no Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, CCA/UFSC.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Alfredo Celso Fantni (Presidente)



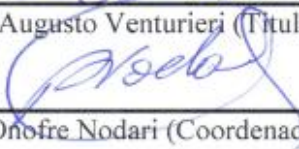
Prof. Dr. Maufício Sedrez dos Reis (Titular/CCA-UFSC)



Prof. Dr. Mário Dobner Junior (Titular/CBS-UFSC)



Prof. Dr. Giorgini Augusto Venturieri (Titular/CCA-UFSC)



Prof. Dr. Rubens Onofre Nodari (Coordenador do Programa)

Florianópolis, fevereiro de 2015

Aos raros que creem no manejo de
florestas secundárias da Mata
Atlântica.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me proporcionado saúde e sabedoria durante este período, possibilitando seguir em frente perante todas as dificuldades e incertezas.

À Renata, minha companheira de vida e de profissão, por estar ao meu lado em todos os momentos, em especial nos inúmeros dias de dificuldades, nos quais sempre me confortou e me fez seguir em frente, espero poder retribuir todo seu apoio e carinho.

À minha família, em especial meu pai, irmãos e sobrinhos.

Ao meu orientador Fantini, por ter me proporcionado esta oportunidade única, e pela liberdade para estabelecer meus objetivos, assim como também por me instigar a conhecer mais sobre o manejo de florestas nativas, além de sua grande ajuda na coleta de dados em campo, fato certamente raro entre orientadores.

Aos demais que me auxiliaram na coleta de dados, nos árduos dias de campo, Maycon Silva, Gustavo Mirales Silva, Giovani Paludo, e principalmente, Geferson Piazza.

Aos meus colegas do LEMEF-UFSC, Geferson Piazza, Adriano Martinho e Fernando de Lucca, pelas diversas conversas, sempre produtivas e descontraídas.

Aos proprietários da área, Sr. Clemente Bisewski, Cristiano Bisewski, e toda sua família, por concederem o local para a pesquisa, além de auxiliarem na colheita das árvores, e em diversos outros momentos.

Aos meus amigos da graduação, Alisson Munaretti, Erick Ramos e Gustavo Mirales Silva, sempre presentes apesar da distância.

Ao amigo e Professor Renato Robert, pela oportunidade de conhecer um pouco mais da realidade florestal do Brasil, e por demonstrar todo seu empenho em melhorar a formação dos Engenheiros Florestais do país, sendo, certamente, inspirador para muitos.

Ao programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais, pelo ensino de qualidade e pela oportunidade, assim como pelos auxílios durante o mestrado, em especial a secretária Bernadete, pelos inúmeros apoios, e ao Professor Maurício Sedrez dos Reis pelos auxílios estatísticos no início do projeto.

A CAPES, pelo auxílio financeiro.

A FATMA, por meio de Maris de Fatima Gaio, pelo grande auxílio na parte burocrática do projeto.

Ao Professor Alexander Vibrans e a equipe do IFFSC, em especial ao Paolo Moser, pelo auxílio nas estatísticas, e ao Heitor Uller pelo auxílio nas identificações das plantas.

Não poderia deixar de agradecer aos que abriram as portas de sua casa para mim durante estes dois anos, e que me acolheram como parte de sua família, além de me proporcionarem diversas conversas politizadas e muito bem descontraídas, obrigado Hermínio Barbedo e família. Certamente conhecendo vocês pude compreender que ainda existem pessoas boas no mundo.

Por fim agradeço a todos que de alguma forma participaram de minha vida durante esta etapa, e que de alguma forma, contribuíram para a sua conclusão.

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho a obtenção de estimadores de volume de madeira de uma formação florestal secundária da Floresta Ombrófila Densa, importante ferramenta em um contexto de manejo desses ecossistemas, como uma estratégia de conservação pelo uso para a Mata Atlântica. O local de estudo consiste em uma floresta secundária localizada no município de Guaramirim, região norte de Santa Catarina, onde são realizadas pesquisas da dinâmica do componente arbóreo há cerca de seis anos. Foram cubadas 187 árvores, das quais foram determinados os volumes de fuste e o total (até o limite de 5 cm de diâmetro), com e sem casca, através do método de Smalian. Com os volumes foram testados seis modelos florestais clássicos por meio de análise de regressão, além de determinados os fatores de forma normal e os fatores de casca, ambos em relação à floresta (todas as espécies) e para *Hyeronima alchorneoides*. Para os critérios de seleção dos modelos de volume, foram utilizadas as estatísticas Erro Padrão da Estimativa, Coeficiente de Determinação Ajustado, Critério de Informação de Akaike, Critério de Informação Bayesiano, além da análise gráfica dos resíduos. Foram realizadas Análises de Variância para verificar diferenças entre as estimativas dos modelos selecionados e dos fatores de forma e de casca. As 187 árvores pertenciam a 40 espécies, sendo que apenas *H. alchorneoides* obteve o número mínimo de 30 indivíduos para os ajustes de modelos específicos. Para a maioria dos modelos os ajustes foram satisfatórios, sendo o de Schumacher-hall (linearizado) selecionado para volume de fuste e total da floresta, assim como para volume de fuste de *H. alchorneoides*, e o de Husch para volume total de *H. alchorneoides*. Foram obtidos os fatores de forma de fuste 0,8027 para a floresta e 0,7962 para a espécie. Os fatores de casca foram 0,9301 para a floresta e 0,9212 para *H. alchorneoides*. A Análise de Variância demonstrou não haver diferenças significativas entre o volume com casca estimado utilizando-se o modelo ajustado e o fator de forma, tanto para a floresta quanto para *H. alchorneoides*. O mesmo se verificou para estimativa do volume sem casca utilizando-se o modelo e o fator de casca. Porém as análises dos resíduos demonstraram que os modelos ajustados são mais indicados que os fatores de forma e de casca, exceto para o volume sem casca para a floresta, sendo o fator de casca mais indicado. Por fim o estudo resultou em informações de grande utilidade para o planejamento e execução de planos de manejo florestal sustentável, em florestas secundárias da Mata Atlântica do estado.

Palavras-chave: Volumetria. Fator de forma. Fator de casca. Florestas secundárias. Mata Atlântica.

ABSTRACT

The aim of this work was to obtain volume estimators for a second-growth forest in a Dense Ombrophilous Forest, considering the management of these areas as a strategy of conservation by use in the Atlantic forest. The study site was located in north-eastern Santa Catarina state, municipality of Guaramirim, where several researches on forest dynamics have been conducted for the past six years. In this study 187 trees were scaled, whose stem and total volumes were obtained (up to 5 cm in diameter), with and without bark, through the Smalian's method. This data was utilized to test six classic forest models based in regression analysis, and the form and the bark factors were also determined, both to the forest (all species) and for *Hyeronima alchorneoides*. The parameters Standard Error of Estimate, Adjusted Coefficient of Determination, Akaike's Information Criterion, Bayesian Information Criterion, and the graphical analysis of residuals were utilized to select the models. An analysis of variance was performed to verify the differences between estimates of the selected models and form and bark factors. The 187 trees resulted in 40 species, and only *Hyeronima alchorneoides* has been found in a number greater than 30 individuals. For the most models the adjustments were satisfactory and the Schumacher-hall (linearized) model was selected to the stem and total volume of the forest, and to the stem volume of *H. alchorneoides*, while the Husch model was selected to the total volume of *H. alchorneoides*. The stem form factor to the forest was 0.8027 and to species was 0.7962. Bark factors were 0.9301 to the forest and 0.9212 to *H. alchorneoides*. The analysis of variance showed that there were no significant differences between the stem volume with bark estimates by using the model and the form factor, both to the forest and *H. alchorneoides*. In the same way, there were not significant differences to the volume without bark using the model and the bark factor. However, the analysis of the residuals pointed that the fitted models are better indicated than the form and bark factors, except for the volume without bark to the forest, where the bark factor is the most recommended. This study brings useful information for proper planning and implementing sustainable forest management plans, for second-growth forests in the State's Atlantic Forest.

keywords: Volume modeling. Form factor. Bark factor. Second-growth. Atlantic forest.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localização da propriedade em estudo, entre os municípios de Guaramirim, Jaraguá do Sul e Massaranduba, na região norte do estado de Santa Catarina, Brasil. | 35 |
| Figura 2. Distribuição do número de indivíduos amostrados por classe diamétrica da floresta. | 49 |
| Figura 3. Dispersão dos volumes com casca (a) e sem casca (b) da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP). | 52 |
| Figura 4. Distribuição do número de indivíduos amostrados por classe diamétrica de <i>H. alchorneoides</i> | 53 |
| Figura 5. Dispersão dos volumes com casca (a) e sem casca (b) de <i>H. alchorneoides</i> em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP). | 56 |
| Figura 6. Resíduos percentuais do Modelo 1 - Husch (a) e do Modelo 3 - Schumacher-hall (b) para estimativa do volume total com casca da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP). | 61 |
| Figura 7. Resíduos percentuais do Modelo 1 - Husch (a) e do Modelo 3 - Schumacher-hall (b) para estimativa do volume total sem casca da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP). | 62 |
| Figura 8. Resíduos percentuais do Modelo 3 (Schumacher-hall) para estimativa do volume de fuste com casca da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP). | 67 |
| Figura 9. Resíduos percentuais do Modelo 3 (Schumacher-hall) para estimativa do volume de fuste sem casca da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP). | 68 |

Figura 10. Resíduos percentuais do Modelo 1 - Husch (a) e do Modelo 2 - Schumacher-hall (b) para estimativa do volume total com casca de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP)..... 74

Figura 11. Resíduos percentuais do Modelo 1 (Husch) para estimativa do volume total sem casca de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP)..... 75

Figura 12. Resíduos percentuais do Modelo 3 (Schumacher-hall) para estimativa do volume de fuste com casca de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP)..... 80

Figura 13. Resíduos percentuais do Modelo 3 (Schumacher-hall) para estimativa do volume de fuste sem casca de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP)..... 81

Figura 14. Resíduos percentuais da estimativa do volume de fuste com casca da floresta a partir do fator de forma normal, em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP)..... 84

Figura 15. Resíduos percentuais da estimativa do volume de fuste com casca de *H. alchorneoides* a partir do fator de forma normal, em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP)..... 85

Figura 16. Resíduos percentuais da estimativa do volume de fuste sem casca da floresta a partir do fator de casca, em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP). 87

Figura 17. Resíduos percentuais da estimativa do volume de fuste sem casca de *H. alchorneoides* a partir do fator de casca, em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP)..... 88

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Modelos testados para os ajustes de volume. | 39 |
| Tabela 2. Número de indivíduos amostrados por espécie, com seus respectivos Diâmetros à Altura do Peito (DAP) médios. | 46 |
| Tabela 3. Estatísticas descritivas para a floresta..... | 51 |
| Tabela 4. Estatísticas descritivas para <i>H. alchorneoides</i> | 55 |
| Tabela 5. Valores Porcentuais obtidos a partir dos volumes médios referentes às 187 árvores amostradas (185 para os valores sem casca) para a floresta, e 35 para <i>H. alchorneoides</i> | 57 |
| Tabela 6. Critérios de seleção dos modelos avaliados, em relação ao volume total, com e sem casca, para a floresta..... | 59 |
| Tabela 7. Coeficientes dos modelos avaliados, em relação ao volume total, com e sem casca, para a floresta. | 60 |
| Tabela 8. Critérios de seleção dos modelos avaliados, em relação ao volume de fuste, com e sem casca, para a floresta. | 65 |
| Tabela 9. Coeficientes dos modelos avaliados, em relação ao volume de fuste, com e sem casca, para a floresta. | 66 |
| Tabela 10. Critérios de seleção dos modelos avaliados, em relação ao volume total, com e sem casca, para <i>H. alchorneoides</i> | 71 |
| Tabela 11. Coeficientes dos modelos avaliados, em relação ao volume total, com e sem casca, para <i>H. alchorneoides</i> | 72 |
| Tabela 12. Critérios de seleção dos modelos avaliados, em relação ao volume de fuste, com e sem casca, para <i>H. alchorneoides</i> | 77 |

Tabela 13. Coeficientes dos modelos avaliados, em relação ao volume de fuste, com e sem casca, para *H. alchorneoides*. 78

Tabela 14. Resumo dos modelos selecionados para os diferentes tipos de volume estimados, com seus respectivos Coeficientes de Determinação ajustados. 90

Tabela 15. Resumo dos Fatores de forma normais médios ($f_{l,3}$) e Fatores de casca médios ao quadrado (K^2) obtidos em relação ao volume de fuste. 91

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| APRESENTAÇÃO | 19 |
| 1 INTRODUÇÃO | 21 |
| 1.1 MATA ATLÂNTICA | 21 |
| 1.2 COBERTURA FLORESTAL DE SANTA CATARINA..... | 22 |
| 1.3 CONSERVAÇÃO PELO USO..... | 24 |
| 1.4 ESTUDOS DENDROMÉTRICOS | 26 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 28 |
| 2.1 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ESPÉCIES FLORESTAIS | 28 |
| 2.2 APLICAÇÕES EM ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS | 30 |
| 3 OBJETIVOS..... | 33 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL | 33 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 33 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 34 |
| 4.1 LOCAL DE ESTUDO | 34 |
| 4.2 CUBAGEM RIGOROSA | 36 |
| 4.3 SELEÇÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS | 38 |
| 4.4 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE FORMA..... | 43 |
| 4.5 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CASCA | 44 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 5.1 AMOSTRA | 46 |
| 5.2 MODELOS DE VOLUME TOTAL PARA A FLORESTA | 57 |
| 5.3 MODELOS DE VOLUME DE FUSTE PARA A FLORESTA | 64 |
| 5.4 MODELOS DE VOLUME TOTAL PARA <i>H. alchorneoides</i> | 69 |
| 5.5 MODELOS DE VOLUME DE FUSTE PARA <i>H. alchorneoides</i> | 75 |
| 5.6 FATOR DE FORMA | 81 |

| | |
|---|-----------|
| 5.7 FATOR DE CASCA..... | 85 |
| 5.8 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS..... | 88 |
| 6 CONCLUSÕES | 92 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 94 |

APRESENTAÇÃO

Após décadas de pesquisas em torno da ecologia e do potencial produtivo das florestas nativas de Santa Catarina, finalmente as teorias puderam ser colocadas em prática, através da assinatura de um termo de Cooperação Técnico-científica entre a Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), possibilitando a implantação de uma unidade de pesquisa em Manejo de Florestas Secundárias no estado. O local selecionado possui um histórico peculiar, que será detalhado ao longo da dissertação, já contendo um arcabouço de informações, oriundas de três dissertações de mestrado realizadas no mesmo. Neste contexto o presente trabalho trará os primeiros resultados práticos obtidos após o início das atividades de manejo na área, contendo informações sobre métodos de estimativas de volume de madeira para a floresta em foco, fazendo parte de um conjunto de trabalhos que estão sendo desenvolvidos visando elucidar questões relacionadas ao manejo de florestas secundárias. A dissertação foi estruturada em corpo único, iniciando com uma breve contextualização sobre a Mata Atlântica, assim como a situação do estado, e sobre conservação pelo uso. Na sequência a revisão bibliográfica descreve definições gerais, assim como o “estado da arte” a cerca da obtenção de volume de espécies florestais nativas. Após, são detalhadas as metodologias utilizadas, e, por fim são relatados os resultados obtidos e, de forma simplificada, suas implicações práticas, e considerações finais.

1 INTRODUÇÃO

1.1 MATA ATLÂNTICA

Um dos biomas brasileiros com sua biodiversidade mais ameaçada na atualidade é a Mata Atlântica, tanto pelo seu histórico de ocupação urbana indiscriminada, nas áreas concentradas no litoral, quanto pela substituição de suas áreas naturais por atividades de produção intensiva, como agricultura e pecuária, aliada a exploração desordenada de suas espécies florestais. Devido a este cenário de degradação, e pela sua alta biodiversidade, associada ao alto grau de endemismos, este bioma é classificado pela Conservação Internacional (2015), como um dos 34 hotspots mundiais, atendendo os critérios descritos por Myers (2000).

A Mata Atlântica é o único bioma no país a possuir uma legislação própria, a Lei Nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006 (BRASIL, 2006) que, de modo geral, visa à conservação, proteção, regeneração e utilização dos remanescentes de vegetação nativa no estágio primário e nos estágios secundário inicial, médio e avançado de regeneração, além de definir sua área de ocorrência original, através do Decreto Nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, que regulamenta a referida Lei (BRASIL, 2008). O mapeamento produto do Decreto Nº 6.660 de 2008, delimita que as formações florestais e ecossistemas naturais associados ao bioma contemplam uma área original de aproximadamente 131 milhões de hectares, distribuídos em 17 estados (BRASIL, 2008).

Apesar dos recentes esforços de conscientização sobre a preservação da Mata Atlântica, esta ainda vem sofrendo uma grande perda de sua cobertura vegetal. De acordo com os resultados da

Fundação SOS Mata Atlântica e INPE (2013), no decorrer de 28 anos, entre os anos de 1985 e 2012, ocorreu um desmatamento de cerca de 1,8 milhões de hectares. Apesar da taxa de desmatamento ter sido decrescente nestes 28 anos, entre os períodos de 2010 a 2011, e de 2011 a 2012, houve um aumento de 29% nestes valores, sendo a maior taxa anual desde 2008 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2013). É importante também ressaltar a distribuição espacial destes remanescentes florestais, pois a fragmentação pode atuar diretamente na viabilidade dos processos ecológicos, sendo que apenas 8,5% dos remanescentes são fragmentos com área acima de 100 ha de extensão (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2013).

1.2 COBERTURA FLORESTAL DE SANTA CATARINA

O estado de Santa Catarina possui seu território completamente inserido no bioma Mata Atlântica, dividido em três formações florestais principais, de acordo com a classificação de Klein (1978), sendo estas a Floresta Ombrófila Densa, a Floresta Ombrófila Mista, e a Floresta Estacional Decidual. De acordo com os resultados do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (VIBRANS et al., 2012a), o estado possui atualmente 29% de cobertura florestal remanescente. Esta cobertura se apresenta fortemente fragmentada, fato comprovado pelo predomínio de remanescentes com até 50 ha, somando 80% do número total de fragmentos (VIBRANS et al., 2012a). As formações com maior perda de cobertura no estado são a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Decidual, com apenas 24,4% e 16,1% de sua área original respectivamente (VIBRANS et al., 2012a). A Floresta Ombrófila Densa apresenta uma situação menos drástica com 40,5% de sua área original

(VIBRANS et al., 2012a). Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica e INPE (2013), em uma avaliação de nove dos 17 estados de ocorrência do bioma, Santa Catarina foi o terceiro estado com maior redução de área florestal, em uma projeção realizada entre 2011 e 2012, com 499 ha de desflorestamento, ficando atrás apenas de Minas Gerais (10.752 ha) e Paraná (2.011 ha).

A diversidade e estrutura florística dos remanescentes florestais de Santa Catarina demonstra resultados coniventes com os dados de cobertura, pois, de acordo com Schorn et al. (2012), destacam-se novamente os estados críticos da Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual, com forte alteração estrutural e predomínio de espécies pioneiras e secundárias, e, a Floresta Ombrófila Densa demonstra situação mais amena, porém com forte predomínio de espécies secundárias, frutos da exploração desordenada no passado. A distribuição da diversidade genética dos fragmentos florestais do estado também revela que a estrutura genética está fragilizada, porém é passível de ser resgatada, desde que se adotem medidas que favoreçam o fluxo gênico e a conectividade entre os fragmentos (REIS et al., 2012).

As condições atuais da Mata Atlântica demonstram que, apesar dos esforços em conter a degradação, esta continua ocorrendo em grandes proporções, destacando a importância da conservação do pequeno percentual que resta, o qual se apresenta em um elevado grau de alteração. Contando com a grande participação de pesquisas no campo, estas condições ficam explícitas em relação à Santa Catarina, demonstrando que as atuais formas de se elaborar, pensar e praticar o que se diz por “preservação” e “conservação”, talvez não sejam as mais adequadas para o bioma.

1.3 CONSERVAÇÃO PELO USO

Em um cenário de degradação, em que legislações ditas como conservacionistas não apresentam resultados contundentes, ao menos em um período de tempo relativamente curto, surgem novas discussões sobre formas alternativas de conservação que busquem inserir o uso como um fator benéfico para a manutenção da biodiversidade (conservação pelo uso).

A questão da interferência humana na Mata Atlântica possui uma perspectiva histórica que nem sempre é levada em conta, pois em épocas passadas, os povos nativos já praticavam sistemas de corte e queima (sistema em que a floresta é derrubada e queimada, para uso alternativo do solo), com o objetivo de utilização da terra fértil das florestas para o cultivo de alimentos, e para facilitar a caça nestes locais abertos (DEAN, 1996). Este sistema talvez tenha levado a alteração de milhares de hectares deste bioma, assim como outros do país, em uma longa escala de tempo, dificultando a delimitação sobre o que são, atualmente, florestas secundárias e florestas climácicas.

De acordo com Mo et al. (2011), em uma avaliação do impacto do manejo florestal tradicional em uma Floresta Tropical Sazonal Úmida da China, as florestas secundárias geradas após aplicação de corte e queima, contribuem de forma complementar, para o aumento da diversidade em nível de paisagem, sendo, portanto, um produto positivo do uso humano. Outro exemplo da aplicação de sistemas de corte e queima, denominado neste caso como “Roça de toco”, que possui a peculiaridade do plantio intencional de espécies florestais, localizado no município de Biguaçu, no próprio estado de Santa Catarina, demonstra que ao longo do tempo, essa adaptação de sistema produtivo levou a

uma melhoria da diversificação da paisagem, através da formação de um mosaico sob diferentes estágios sucessionais, alternados com áreas em pleno uso, em uma paisagem anteriormente dominada por gramíneas exóticas invasoras (DE LUCA et al., 2012; RODRIGUES, 2014). Desta forma, sistemas de uso tradicionais podem ser positivos em relação à conservação da biodiversidade, principalmente em formações secundárias, resultantes do processo de interação, e possivelmente coevolução, com o ser humano.

Considerando que em florestas tropicais, as espécies pertencentes ao grupo das pioneiras e secundárias possuem uma velocidade de crescimento muito alta, se comparada às espécies de florestas maduras (HARTSHORN, 1980), sistemas que procurem manejar as florestas secundárias, demonstram-se promissores do ponto de vista da busca da sustentabilidade de produção, se comparados a sistemas de manejo em florestas climácicas, as quais possuem um crescimento lento, além de ser um estoque de madeira atualmente disponível nas propriedades rurais de Santa Catarina (FANTINI; SIMINSKI, 2007).

Em relação às implicações legais impostas pela “Lei da Mata Atlântica”, as restrições referentes ao corte e supressão foram, talvez, as mais expressivas, e tornam praticamente inviáveis qualquer forma de manejo de produtos florestais madeireiros neste bioma. Estas medidas legais levaram muitos proprietários rurais a converterem suas áreas, antes degradadas, ou utilizadas para sistemas de corte e queima, ou mesmo em estágios secundários de sucessão, para plantios homogêneos de espécies florestais exóticas, reduzindo a representatividade dos fragmentos nativos, e a diversidade tanto em nível local, quanto da

paisagem, distanciando ainda mais a realidade dos resultados almejados (SIMINSKI, 2009; SIMINSKI et al., 2011).

Portanto o manejo das florestas secundárias da Mata Atlântica pode ser uma alternativa, e para que se torne realidade, há necessidade de informações sobre os fragmentos remanescentes, tanto em termos de diversidade, quanto de estrutura da floresta, levando em conta conceitos importantes para o manejo florestal, como a produtividade destas espécies. Embora já tenha ocorrido uma evolução ao longo dos últimos anos, ainda há uma insuficiência de informações relacionadas ao manejo de florestas secundárias, especialmente com foco em sistemas que conciliem o uso à conservação, que auxiliariam na manutenção da biodiversidade, no bem estar e na permanência das populações rurais.

1.4 ESTUDOS DENDROMÉTRICOS

Dentre as informações estruturais de uma floresta, pode-se destacar a altura e o diâmetro, assim como as variáveis oriundas destas, sendo as principais a área basal e o volume.

A determinação do volume de espécies florestais é uma informação básica para o planejamento adequado do manejo, visando um correto ordenamento e dimensionamento da produção em níveis sustentáveis. Porém é uma variável de difícil obtenção, a qual acarreta em um alto custo para a sua determinação, especialmente em florestas nativas. Uma forma de reduzir os custos do inventário florestal é através do ajuste de modelos matemáticos para a estimativa de variáveis dendrométricas de difícil obtenção, a partir de variáveis mais simples de serem obtidas, sendo a mais comum o Diâmetro à Altura do Peito (DAP), utilizada individualmente ou combinada à altura (SILVA;

PAULA NETO, 1979; FINGER, 1992). É importante ressaltar que para espécies nativas, há uma grande ausência destas informações, sobretudo para a Mata Atlântica, demonstrando a necessidade de mais esforços em pesquisas nestas áreas.

Com base nesta problemática, e considerando a conservação pelo uso como uma alternativa para a manutenção da biodiversidade da Mata Atlântica, são imprescindíveis informações que possam subsidiar propostas de manejo dessas florestas secundárias. Dentre estas informações estão os modelos volumétricos, que permitem a obtenção de estimativas confiáveis de volume (individual ou por área), e do volume comercial, as quais possibilitam a realização de projeções da produção, verificando a viabilidade tanto econômica quanto ecológica do sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ESPÉCIES FLORESTAIS

A determinação do volume de espécies florestais é um processo que dispense trabalho, e por consequência, altos custos. Por este motivo, a obtenção de volume, denominada de cubagem, é realizada a partir de partes de árvores amostra, fornecendo conjuntos de dados utilizados no ajuste de funções que descrevam a relação das diferentes dimensões da árvore e seu volume (FINGER, 1992; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003).

A importância dos estudos da casca das árvores, ou seja, de sua espessura e variação ao longo do fuste, está relacionado ao tipo de comercialização da matéria-prima florestal, que pode incluir ou não o aproveitamento desta, sendo que em certos casos, a casca pode ser a matéria prima principal (FINGER, 1992; SILVA; PAULA NETO, 1979).

De acordo com Silva e Paula Neto (1979) e Machado e Figueiredo Filho (2003), a cubagem rigorosa de árvores pode ser realizada por xilômetros (métodos de obtenção de volume por imersão em água), ou por fórmulas (ou funções) matemáticas aplicadas a seções do fuste. Os xilômetros obtêm estimativas mais precisas, porém são mais trabalhosos, enquanto que as fórmulas obtêm boas estimativas, de modo prático (SILVA; PAULA NETO, 1979; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003; SOARES et al., 2011a). Além destes métodos, West (2009) cita a determinação de volumes através de uso de escaneamentos a laser, permitindo a modelagem dos fustes, e outro método ainda, seria a obtenção de volumes a partir de fotografias digitais dos fustes em dimensões diferentes. Porém estes métodos ainda

são pouco utilizados no Brasil, devido a fatores como custos e aplicabilidade.

O ajuste de fórmulas matemáticas é uma ferramenta que auxilia no cálculo do volume total do fuste, denominado de volume rigoroso, através da soma dos volumes das seções, em que cada seção se assemelha a um determinado sólido geométrico (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003). De modo geral, a base da árvore é representada por um nielóide, a parte central por um parabolóide, e o ápice por um cone (SILVA; PAULA NETO, 1979; FINGER, 1992; MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003).

Estas fórmulas são ainda, divididas em dois grupos, um formado pelos métodos absolutos, que utilizam distâncias padrões para as seções (fórmulas de Huber, Smalian e Newton), e outro formado pelos métodos relativos, que delimitam as seções através de proporções fixas em relação ao comprimento total da árvore (fórmula de Hohenadl) (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003). Dentre as várias fórmulas para o cálculo de volume rigoroso, as mais comuns são as de Smalian, de Huber e de Newton, as quais diferem em relação à forma de cálculo do volume de cada seção (SILVA; PAULA NETO, 1979; FINGER, 1992; WEST, 2009).

Existem variações nas precisões das estimativas em relação às diferentes fórmulas, em função do tipo de sólido geométrico. Conforme Husch et al. (1982), a de Newton é a que apresenta melhor aplicação na maioria dos casos, porém a de Smalian e de Huber são exatas quando as seções se assemelham a parabolóides. O comprimento da seção também pode interferir, sendo que comprimentos maiores de 1,20 m resultam em grandes erros para o método de Smalian, indicando-se Huber ou Newton

nestes casos (SILVA, 1977). É importante ressaltar que, de acordo com Finger (1992), quanto menor for o tamanho da secção, maior a proximidade do volume calculado com o volume real.

A partir destes pontos abordados denota-se, portanto, que há inúmeros métodos de determinação de volume em árvores, e que é necessária atenção para a definição do método a ser aplicado, levando em consideração tanto as precisões das estimativas, quanto a aplicabilidade para cada situação.

2.2 APLICAÇÕES EM ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS

Os estudos de volumetria no Brasil estão atualmente concentrados em descrever plantios de espécies exóticas, em especial dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, sendo pouco comuns para espécies nativas. A maior parte dos trabalhos com nativas se restringem a espécies da Amazônia e Cerrado, devido à possibilidade de manejo das espécies destes biomas. Os poucos estudos fora destes, relacionados ao bioma Mata Atlântica, estão restritos ao estado de São Paulo, e em sua grande maioria para florestas plantadas, e alguns poucos relatos são descritos para o Paraná e Rio Grande do Sul. No estado de Santa Catarina poucas são as publicações, sendo o mais recente estudo publicado através do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, se tratando de um projeto em ampla escala, que considerou a determinação do volume do fuste principal (até inserção dos primeiros galhos), e através de métodos não destrutivos, no caso por escalada (VIBRANS et al., 2012b).

De acordo com Machado e Figueiredo Filho (2003), devido a implicações legais, as estimativas de volume em espécies nativas

geralmente são realizadas por métodos não destrutivos (sem que ocorra a derrubada das árvores), ocasionando uma maior fonte de erros, sobretudo na determinação do volume sem casca, que em certos casos é de grande importância.

Scolforo et al. (1994), em estudos de Floresta Estacional Semidecidual de Minas Gerais, concluíram que é possível obter estimativas seguras do volume de fuste de espécies nativas, tanto utilizando-se equações baseadas em fator de forma, quanto de equações de volume propriamente ditas, porém, as últimas apresentam menores erros relativos as médias verdadeiras. Santos et al. (2009), também obtiveram bons ajustes através de equações tradicionais de volume de fuste, para espécies nativas de Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Borsoi (2005) obteve conclusões similares para volume comercial, porém para Floresta Ombrófila Mista do Rio Grande do Sul.

Schuch et al. (2008), em estudos específicos para *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin, em Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina, concluíram que é possível obter estimativas precisas de volume comercial da espécie, com base em modelos que levem em conta o DAP e a altura comercial, assim como Oller (2011), para *Tibouchina pulchra* Cogn.. Silveira (2008), em estudos de volume da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina, também obteve ajustes satisfatórios. Resultados similares foram encontrados para espécies de Mata Atlântica no estado do Espírito Santo, descritos por Jorge (1982); Souza e Jesus (1991), e por Chichorro et al. (2003). Durlo e Denardi (1998), apresentaram resultados para *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em Floresta Estacional Decidual do Rio Grande do Sul, porém para modelos de fator de forma comercial. Um dos poucos trabalhos em que

consta modelos de volume total (no caso até o diâmetro limite de 5 cm) é descrito por Nunes (2013), para Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Densa do estado de São Paulo.

Dentre as fórmulas de cálculo do volume rigoroso, a mais consagrada é a de Smalian, pela sua facilidade de aplicação, fato que também vem sendo denotado no caso do uso em espécies nativas, apesar das limitações já comentadas, sendo este método utilizado por Jorge (1982); Souza e Jesus (1991); Scolforo et al. (1994); Durlo e Denardi (1998); Chichorro et al. (2003); Borsoi (2005); Schuch et al. (2008); Soares et al. (2011b); Oller (2011); Vibrans et al. (2012b) e Nunes (2013).

Deste modo, embora tenha ocorrido uma evolução nos últimos anos, fica evidente a insuficiência de informações relacionadas aos modelos de obtenção de volume de espécies nativas, principalmente para as florestas secundárias do bioma Mata Atlântica.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Gerar estimadores de volume de madeira para florestas secundárias da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina, como forma de subsídios a propostas de manejo florestal sustentável destas formações.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar, por meio de análise de regressão, diferentes modelos de equações para estimativas de volume de fuste e total, com base em variáveis dendrométricas;
- Obter valores de fatores de forma e de fatores de casca;
- Verificar qual o método é mais indicado para as estimativas de volumes propostas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE ESTUDO

A área de estudo compreende uma propriedade rural localizada na região Norte Catarinense, mais precisamente entre os municípios de Guarimir, Jaraguá do Sul e Massaranduba (Figura 1). A propriedade possui uma área total de 41,9 ha, sendo que em uma parte desta, equivalente a 25 ha, foi realizado o plantio de mudas de espécies nativas no ano de 1978, com projeto registrado no Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF, a fim de cumprir obrigações de reposição florestal, referente às leis vigentes na época. O plantio não utilizou espaçamentos regulares, e recebeu tratos culturais apenas nos primeiros cinco anos após sua implantação, por isso ao longo do tempo adquiriu características muito similares a uma floresta secundária (SCHUCH, 2010), sendo, portanto, tratada neste trabalho com esta definição. O restante da propriedade foi abandonado no mesmo período referente ao plantio, sendo, portanto formado atualmente por uma floresta secundária regenerada naturalmente.

A área delimitada pelo plantio recebeu licença para ser manejada no ano de 2013, a partir termo de cooperação técnico-científica Nº 10/2013 estabelecido entre a FATMA e a Universidade Federal de Santa Catarina, partindo-se do pressuposto da permissão para supressão de vegetação em casos de pesquisas científicas, descrito na “Lei da Mata Atlântica” (Lei Nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006).

De acordo com o mapa Fitogeográfico proposto por Klein (1978), a região está incluída na formação vegetacional de Floresta Ombrófila Densa. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do Tipo Cfa - Temperado húmido com verões quentes. A área possui uma

declividade acentuada, com altitude de aproximadamente 300 metros acima do nível do mar. Conforme a classificação do IBGE (2012), a vegetação predominante no local é a Floresta Ombrófila Densa Submontana.

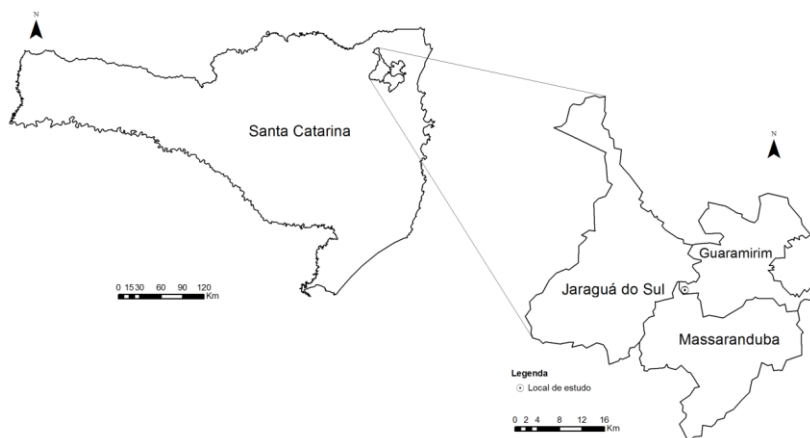


Figura 1. Localização da propriedade em estudo, entre os municípios de Guaramirim, Jaraguá do Sul e Massaranduba, na região norte do estado de Santa Catarina, Brasil.

Na propriedade foram alocadas parcelas permanentes no ano de 2008, com propósito de avaliar e monitorar o desempenho da floresta antes e após o manejo. Um total de 12 parcelas foram distribuídas de forma casualizada na área referente ao plantio (25 ha), de formato quadrado, com dimensões de 40 x 40 m, nas quais foram avaliados todos os indivíduos com Diâmetro à Altura do Peito (DAP) maior ou igual a cinco centímetros. Os mesmos foram identificados ao nível de espécie (no campo quando possível ou posteriormente em laboratório), e foram coletados os dados de DAP, altura total e altura comercial

(SCHUCH, 2010 e SCHMITZ, 2013). Por meio destes dados, selecionaram-se as árvores a serem colhidas na etapa inicial do manejo da área, as quais foram utilizadas para obtenção do volume através do processo de cubagem rigorosa.

4.2 CUBAGEM RIGOROSA

O método de cálculo do volume rigoroso utilizado foi o de Smalian, conforme descrição de Finger (1992), devido aos pontos abordados no item 2. A cubagem rigorosa pelo método de Smalian consiste na medição dos diâmetros ou circunferências nas extremidades de cada seção do tronco (apenas a base do fuste é calculada a partir de uma fórmula geral). Assim determinou-se o volume de cada seção utilizando a seguinte função (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003):

$$v_i = \frac{(g_a + g_b) \cdot l}{2}$$

Considerando:

v_i = volume da seção i (m^3);

g_a = área transversal na base da seção i (m^2);

g_b = área transversal no topo da seção i (m^2);

l = comprimento da seção i (m);

i = número de seções ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

O volume total foi obtido pelo somatório dos volumes parciais (detalhados anteriormente), juntamente com o volume do “toco” (v_t), definido abaixo:

$$v_t = (g_t \cdot l_t)$$

Considerando:

v_t = volume do “toco” (m^3);

g_t = área transversal do “toco” (m^2);

l_t = altura do “toco” (m).

Foram definidas as seguintes secções para tomada das medidas dos diâmetros: 0,1 m; 0,3 m; 0,7 m; 1,0 m; 1,3 m; 2,0 m; e a cada metro até a extremidade do fuste, sendo esta delimitada por bifurcações, ou pelo diâmetro mínimo de cinco centímetros. O “toco” foi definido como a seção até 0,1m. Todos os galhos foram mensurados a cada metro, até o diâmetro limite de cinco centímetros. Com o uso de uma suta, a cada ponto de medida foi obtido o diâmetro médio com casca, que consiste em duas medidas perpendiculares em relação ao maior e menor diâmetro no ponto. Além disso, em cada ponto de medida foi obtida a espessura de casca simples (apenas uma medida por ponto), com auxílio de um paquímetro digital. A altura de fuste, utilizada para a determinação do volume de fuste também foi obtida nesta etapa, sendo definida como altura até o início da copa (primeira bifurcação) e obtida com o uso de trena. Um aspecto particular ao trabalho com espécies nativas são as árvores que bifurcam a partir da base, sendo tratadas de modo individual (cada bifurcação corresponde a um indivíduo), desde que ocorram abaixo da altura de 1,3 m.

Todas as árvores colhidas durante a etapa inicial do manejo foram cubadas, excluídas as que, durante o processo, perderam alguma parte (galhos), as quais poderiam apresentar erros na estimativa. Foi

fixada a quantidade aproximada de 200 indivíduos a serem cubados para o ajuste dos modelos para a floresta (que se refere a estimativa do número de árvores a serem colhidas na primeira etapa do manejo), e de 30 indivíduos para o ajuste dos modelos específicos. A única espécie que atingiu o limite foi *Hyeronima alchorneoides*, por ser dominante na área, e também de grande interesse dos proprietários. Desta forma todos os procedimentos descritos a seguir foram realizados tanto para a floresta, quanto para a espécie.

Em todas as árvores foram realizadas coletas de material vegetativo, ou fértil quando presente, para a garantia da correta identificação da espécie. A nomenclatura botânica foi atualizada de acordo com a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2015). Os nomes populares foram obtidos com o auxílio dos proprietários da floresta ao longo dos trabalhos de campo, e quando não citados por estes, foram consultados na Flora Digital do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (GIEHL, 2014).

Os indivíduos amostrados foram divididos em classes diamétricas com intervalo de 5 cm a fim de se observar a distribuição. Com os valores finais foram calculados os volumes totais e volumes de fuste, com e sem casca, para cada árvore, os quais foram utilizados na etapa de seleção dos modelos, e de obtenção de fatores de forma e de casca.

4.3 SELEÇÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS

Com base nos dados de volume coletados na etapa da cubagem (volume total e de fuste, ambos com e sem casca), utilizou-se da análise de regressão para testar seis modelos florestais clássicos de volumetria,

e selecionar o modelo mais representativo para a espécie e para o grupo. Os seis modelos previamente definidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos testados para os ajustes de volume.

| Modelos | Autores | Modelo matemático |
|---------|-----------------|--|
| 1 | HUSCH | $\ln(v) = b0 + b1*\ln(dap) + \varepsilon$ |
| 2 | SPURR | $v = b0 + b1*dap^2*h + \varepsilon$ |
| 3 | SCHUMACHER-HALL | $\ln(v) = b0 + b1*\ln(dap) + b2*\ln(h) + \varepsilon$ |
| 4 | MEYER | $v = b0 + b1*dap + b2*dap^2 + b3*dap*h + b4*dap^2*h + \varepsilon$ |
| 5 | STOATE | $v = b0 + b1*dap^2 + b2*dap^2*h + b3*h + \varepsilon$ |
| 6 | NASLUND | $v = b0 + b1dap^2 + b2dap^2h + b3dap h^2 + b4h^2 + \varepsilon$ |

\ln = Logaritmo natural; v = volume (m^3); dap = diâmetro à altura do peito (cm); h = altura (m); $b0$, $b1$, $b2$, $b3$, $b4$ = coeficientes dos modelos; ε = erro aleatório associado ao modelo.

Nos modelos de Schumacher-Hall (linearizado) e Husch, foi utilizado o fator de Meyer para as correções no recálculo (ou estimativa), devido a estes modelos apresentarem funções logarítmicas, ou seja, que são submetidas a conversões (URBANO, 2007). Procedeu-se também o recálculo dos resíduos, com base nos valores corrigidos através do Fator de Meyer. O Fator de Meyer foi obtido a partir da seguinte equação (URBANO, 2007):

$$Fator\ de\ Meyer = e^{0,5 \cdot QMresíduo}$$

Considerando:

$$e = 2,718281828;$$

$QM_{resíduo}$ = Quadrado médio do resíduo.

Para a seleção do melhor modelo, foi utilizada inicialmente a Análise de Variância da regressão, com o objetivo de testar se existem diferenças significativas entre os coeficientes dos modelos. No caso da constatação dessa diferença, foi aplicado o teste t de *student*, comparando cada valor dos coeficientes à zero (SOARES et al., 2011a). Após esta etapa, foram analisados os critérios do Coeficiente de Determinação Ajustado ($R^2_{ajustado}$), o Erro Padrão da Estimativa absoluto (S_{yx}) e em porcentagem ($S_{yx}(\%)$), o Critério de Informação de Akaike (AIC) e o Critério de Informação Bayesiano (BIC), seguindo o ranking sugerido por Bartoszeck (2000). Na etapa seguinte, foi realizada a análise gráfica dos resíduos em forma porcentual (SILVA; PAULA NETO, 1979; SOARES et al., 2011a).

O Coeficiente de Determinação (R^2) demonstra qual a porcentagem da variação dos dados em torno da média que esta sendo representada pelo modelo ajustado, e devido aos modelos testados apresentarem números diferentes de coeficientes, foi necessário ajustar o R^2 para que as comparações fossem adequadas em função desta diferença, resultando na seguinte expressão (NETER et al., 1990):

$$R^2_{ajustado} = 1 - (n-1/n-p-1) * (SQ_{resíduo}/SQ_{total})$$

Considerando:

$R^2_{ajustado}$ = Coeficiente de Determinação Ajustado em função do número de coeficientes de cada modelo;

n = número de observações;

p = número de variáveis independentes do respectivo modelo;

$SQ_{resíduo}$ = Soma de Quadrados do Resíduo (ou desvios);

SQ_{total} = Soma de Quadrados Total.

O Erro Padrão da Estimativa indica o erro médio associado ao uso da equação, portanto quanto menor for este, melhor será o modelo, o qual foi obtido da seguinte maneira (SOARES et al., 2011a):

$$S_{yx} = \pm \sqrt{QM_{resíduo}}$$

Considerando:

S_{yx} = Erro Padrão da Estimativa;

$QM_{resíduo}$ = Quadrado Médio do Resíduo.

Na forma percentual o Erro Padrão da Estimativa foi obtido pela equação:

$$S_{yx}(\%) = (S_{yx} / \bar{Y}) * 100$$

Sendo:

$S_{yx}(\%)$ = Erro Padrão da Estimativa em porcentagem;

S_{yx} = Erro Padrão da Estimativa;

\bar{Y} = valor médio da variável dependente.

O Critério de Informação de Akaike (AIC) demonstra a distância geral relativa entre o modelo gerado e o modelo real, sendo,

portanto, melhor quanto menor for seu valor (VISMARA, 2009). O *AIC* foi obtido através da seguinte equação (VISMARA, 2009):

$$AIC = -2 \ln (mv) + 2 p$$

Sendo:

mv = valor de máxima verossimilhança apresentada pelo modelo;

p = número de parâmetros do modelo.

O Critério de Informação Bayesiano (*BIC*) foi desenvolvido de modo a complementar as deficiências do *AIC*, sendo, de mesma forma, melhor quanto menor for o seu valor, (SCHWARZ, 1978) o qual foi definido como (CARVALHO, 2013):

$$BIC = -2 \ln (mv) + \ln(n)*p$$

Sendo:

mv = valor de máxima verossimilhança apresentada pelo modelo;

p = número de parâmetros do modelo;

n = número de observações.

A análise gráfica dos resíduos, obtidos em função da diferença entre os valores da variável observada e da estimada, é de grande relevância, pois possibilita a identificação de problemas como a heterocedasticidade de variâncias, mesmo em casos onde a equação demonstre ser precisa (SOARES et al., 2011a). Além disso, permite a detecção de tendências resultantes do uso do modelo, como

subestimações ou superestimações. O mesmo foi calculado de forma percentual, de acordo com a seguinte equação:

$$Res(\%) = \frac{Vest - Vobs}{Vobs} * 100$$

Sendo:

$Res(\%)$ = Resíduo percentual;

$Vest$ = Valor estimado;

$Vobs$ = Valor observado.

4.4 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE FORMA

O fator de forma é definido por Finger (1992), como um fator que reduz o volume do cilindro formado pela área transversal e altura, para o volume verdadeiro representado através do sólido de revolução, podendo este fator ser calculado por diversos métodos. De acordo com Silva e Paula Neto (1979), o fator de forma normal ($f_{I,30}$) pode ser obtido através da relação entre o volume rigoroso da árvore, e o volume calculado considerando a forma de um cilindro (multiplicação da área basal obtida com o DAP, e altura). A equação utilizada pode ser resumida da seguinte maneira (SOARES et al., 2011a):

$$f_{I,30} = \frac{V_{\text{rigoroso}}}{V_{\text{cilindro}}}$$

Considerando:

$f_{I,30}$ = Fator de forma normal;

$V_{rigoroso}$ = Volume obtido a partir da cubagem rigorosa;

$V_{cilindro}$ = Volume calculado através da multiplicação da área basal à 1,30m do solo, e da altura de fuste.

Com base no fator de forma é possível, portanto, realizar estimativas dos volumes individuais de árvores sem necessidade de cubá-las. O fator de forma obtido foi em relação ao volume de fuste com casca. No intuito de se avaliar a eficiência do uso do fator de forma em relação às estimativas geradas com o uso dos modelos, foi realizada uma Análise de Variância de fator único, testando se há diferenças significativas entre o volume real, o volume estimado pelo modelo, e o volume estimado através do uso do fator de forma (adaptado de JORGE, 1982; SOUZA; JESUS, 1991; e SCOLFORO et al., 1994).

4.5 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CASCA

A determinação da espessura de casca foi realizada nas mesmas posições determinadas para a cubagem rigorosa, por meio da diferença entre as medições de diâmetro com casca e a dupla espessura da casca. O fator de casca médio (K) pode ser facilmente obtido para uma série de dados a partir da equação (HUSCH et al. 1982):

$$K = \frac{\sum d_{sc}}{\sum d_{cc}}$$

Considerando:

K = Fator de casca médio;

d_{sc} = Diâmetro sem casca;

d_{cc} = Diâmetro com casca.

A partir das derivações desta equação é possível então, obter-se uma série de informações, como volume sem casca, volume de casca, espessura de casca, entre outras de grande utilidade no manejo florestal. O volume sem casca estimado por meio do fator de casca (utilizado no item 5.7) foi obtido pela seguinte equação:

$$V_{sc} = K^2 * V_{cc}$$

Sendo:

V_{sc} = Volume sem casca;

V_{cc} = Volume com casca;

K = Fator de casca.

Similar ao realizado no fator de forma foi elaborada uma Análise de Variância de fator único, testando se existem diferenças significativas entre o volume real, o volume estimado pelo modelo, e o volume estimado através do uso do fator de casca, visando avaliar possíveis desvios no uso do fator de casca nas estimativas de volume sem casca (adaptado de JORGE, 1982; SOUZA; JESUS, 1991; e SCOLFORO et al., 1994).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AMOSTRA

Ao total foram amostradas 187 árvores, pertencentes a 40 espécies, as quais estão detalhadas na Tabela 2, com seus respectivos diâmetros médios. Para *Hyeronima alchorneoides*, foram amostrados 35 indivíduos, atingindo o número mínimo que possibilitou o ajuste de modelos específicos. Embora apenas uma espécie tenha seus modelos ajustados, essa merece destaque por sua grande representatividade na Floresta Ombrófila Densa do estado (LINGNER et al., 2012), e por possuir um grande potencial produtivo (SCHUCH, 2010), sendo citada ainda, como uma espécie relacionada ao uso madeireiro tradicional por agricultores familiares catarinenses (SIMINSKI, 2011).

Tabela 2. Número de indivíduos amostrados por espécie, com seus respectivos Diâmetros à Altura do Peito (DAP) médios.

| Espécie | Nome popular | Ni | DAP médio |
|---|-----------------------|----|-----------|
| <i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão | Licurana ou Urucurana | 35 | 25,7 |
| <i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin | Jacatirão | 19 | 26,3 |
| <i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg. | Tanheiro | 12 | 21,6 |
| <i>Allophylus petiolulatus</i> Radlk. | Ne | 12 | 9,3 |
| <i>Annona neosericea</i> H.Rainer | Cortiça | 12 | 15,4 |
| <i>Clusia criuva</i> Cambess. | Figueirinha | 7 | 19,0 |
| <i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz | Maria-mole | 7 | 16,5 |
| <i>Matayba intermedia</i> Radlk. | Camboatá | 7 | 18,3 |
| Continua... | | | |

Continuação Tabela 2.

| | | | |
|--|---|---|------|
| <i>Cupania oblongifolia</i> Mart. | Miguel-pintado | 6 | 14,5 |
| <i>Nectandra membranacea</i> (Sw.) Griseb. | Canela-branca | 6 | 29,0 |
| <i>Virola bicuhyba</i> (Schott ex Spreng.) Warb. | Bocuva, Bicuíva ou Virola | 6 | 26,2 |
| <i>Nectandra oppositifolia</i> Nees | Canela-garuva | 5 | 29,7 |
| <i>Casearia decandra</i> Jacq. | Guaçatonga ou Cambroé* | 4 | 10,8 |
| <i>Citharexylum myrianthum</i> Cham. | Tucaneira | 4 | 29,7 |
| <i>Miconia cabucu</i> Hoehne | Pau-ferro | 4 | 15,2 |
| <i>Myrcia spectabilis</i> DC. | Guamirim | 4 | 6,9 |
| <i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill. | Seca-ligeiro | 3 | 13,2 |
| <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl. | Tanheiro | 2 | 35,0 |
| <i>Andira fraxinifolia</i> Benth. | Pau-ripa ou Angelim | 2 | 16,7 |
| <i>Bathysa australis</i> (A.St.-Hil.) K.Schum. | Macaqueiro | 2 | 8,6 |
| <i>Casearia obliqua</i> Spreng. | Cambroé, Guaçatonga ou Carvalhinho* | 2 | 13,6 |
| <i>Casearia sylvestris</i> Sw. | Carvalhinho, Chá-de-bugre ou Varre-forno* | 2 | 14,2 |
| <i>Coussapoa microcarpa</i> (Schott) Rizzini | Mata-pau | 2 | 19,5 |
| Fabaceae 1 | Pau-urubu | 2 | 22,4 |
| <i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq. | Figueira | 2 | 38,0 |
| <i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC. | Guamirim | 2 | 16,9 |
| <i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth. | Laranjeira-do-mato | 2 | 9,4 |
| Continua... | | | |

| Continuação Tabela 2. | | | |
|---|---------------------------------|------------|-------------|
| <i>Trichilia lepidota</i> Mart. | Guacá-maciele | 2 | 29,2 |
| <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart. | Canharana ou Canjerana | 1 | 39,4 |
| <i>Machaerium</i> sp1 Pers. | Ne | 1 | 13,4 |
| <i>Magnolia ovata</i> (A.St.-Hil.) Spreng. | Baguaçu | 1 | 20,5 |
| <i>Myrcia pubipetala</i> Miq. | Guamirim | 1 | 19,5 |
| <i>Protium kleinii</i> Cuatrec. | Almecega | 1 | 20,3 |
| <i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb. | Pau-mel | 1 | 31,8 |
| <i>Psychotria suterella</i> Müll.Arg. | Grandiúva-d'anta | 1 | 6,5 |
| <i>Seguiera langsdorffii</i> Moq. | Limoeiro-do-mato* | 1 | 18,1 |
| <i>Tetrorchidium rubrivenium</i> Poepp. | Canemuçu, Embirão ou Peloteira* | 1 | 13,4 |
| <i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng. | Pau-encrenca | 1 | 26,7 |
| <i>Zanthoxylum</i> sp1 L. | Mamica-de-cadela | 1 | 6,7 |
| <i>Zollernia ilicifolia</i> (Brongn.) Vogel | Falsa espinheira-santa | 1 | 8,9 |
| Total | | 187 | 20,7 |

*Nomes populares consultados em Giehl (2014). Ni = Número de indivíduos; DAP = Diâmetro à Altura do Peito (cm) e Ne = Nome popular não encontrado.

As árvores amostradas foram agrupadas em classes diamétricas com intervalo de 5 cm (Figura 2). A distribuição nas classes demonstra que os dados estão acumulados nas classes inferiores (abaixo de 30 cm de DAP), sendo possivelmente representativo da floresta em questão, na qual há o predomínio de indivíduos com dimensões reduzidas, de acordo

com os resultados encontrados por Schuch (2010), para a mesma área. É importante ressaltar que duas árvores não possuíam suas medidas de espessura de casca mensuradas por problemas no processo, ambas na primeira classe, desta forma as estatísticas de volume sem casca se referem a 185 observações.

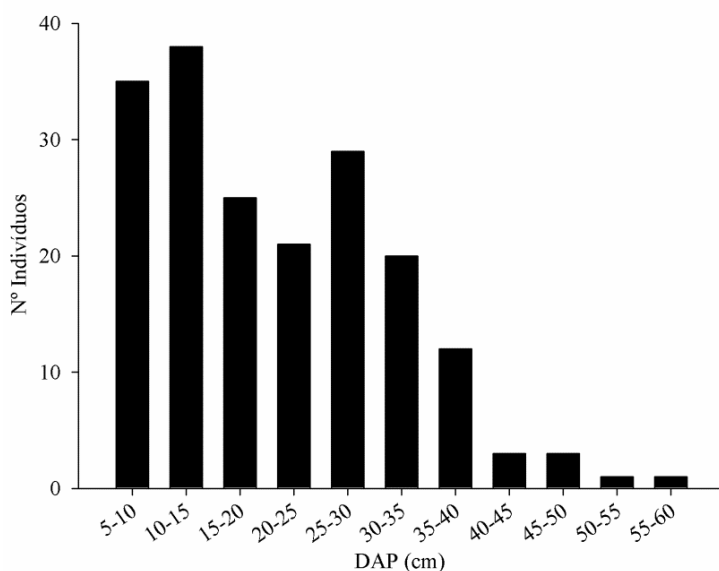


Figura 2. Distribuição do número de indivíduos amostrados por classe diamétrica da floresta.

Na Tabela 3 estão detalhadas as estatísticas descritivas, onde se destaca a grande variabilidade dos dados, em especial no que se refere aos volumes avaliados. Fato que pode novamente estar refletindo uma característica da floresta em questão, ou efeitos da amostragem. A dispersão dos dados em relação ao DAP (Figura 3) evidencia a

tendência exponencial que os volumes possuem, tanto para os valores com casca, como para os sem casca, além do aumento de variação em direção as classes de maior diâmetro.

Tabela 3. Estatísticas descritivas para a floresta.

| Estatística | DAP | Ht | Hf | Ec | Vfuste com casca | Vtotal com casca | Vfuste sem casca | Vtotal sem casca |
|----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Mínimo | 5,3 | 2,5 | 1,6 | 0,25 | 0,0042 | 0,0046 | 0,0045 | 0,0049 |
| 1º Quartil | 11,5 | 12,3 | 6,0 | 4,23 | 0,0628 | 0,0756 | 0,0543 | 0,0619 |
| Mediana | 19,1 | 16,1 | 8,0 | 6,00 | 0,2160 | 0,2795 | 0,1907 | 0,2409 |
| Média | 20,7 | 15,9 | 8,7 | 6,49 | 0,3236 | 0,5142 | 0,2834 | 0,4352 |
| 3º Quartil | 28,9 | 19,4 | 11,0 | 8,02 | 0,4594 | 0,7675 | 0,3903 | 0,6663 |
| Máximo | 55,7 | 32,9 | 19,9 | 34,30 | 2,2931 | 4,4479 | 2,0944 | 3,8230 |
| Variância | 115,8 | 26,3 | 14,6 | 9,41 | 0,1369 | 0,4099 | 0,1077 | 0,2941 |
| Desvio padrão | 10,8 | 5,1 | 3,8 | 3,07 | 0,3700 | 0,6402 | 0,3281 | 0,5423 |

DAP = Diâmetro à Altura do Peito (cm); Ht = Altura Total (m); Hf = Altura de Fuste (m), Ec = Simples espessura de casca (mm) e V = Volume (m³).

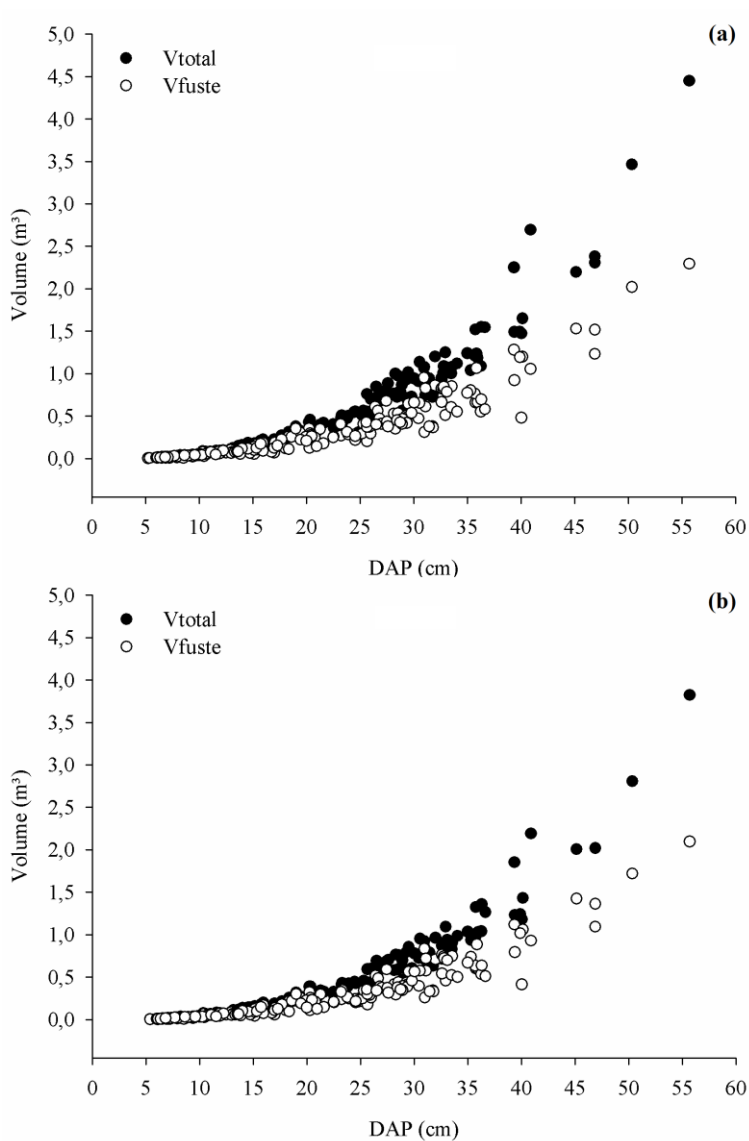


Figura 3. Dispersão dos volumes com casca (a) e sem casca (b) da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

A distribuição dos indivíduos de *H. alchorneoides* em classes diamétricas (Figura 4), apresenta comportamento diferenciado em relação à distribuição geral, estando os dados concentrados nas classes centrais, podendo ser ocasionado pela amostragem, ou devido às características da própria espécie no local (plantio ou regeneração conduzida). Schuch (2010), descrevendo a estrutura da espécie na mesma floresta analisada, obteve uma distribuição similar dos indivíduos, com valores concentrados nas classes entre 15 e 35 cm de DAP, denotando que a amostragem possivelmente reflete as características da população.

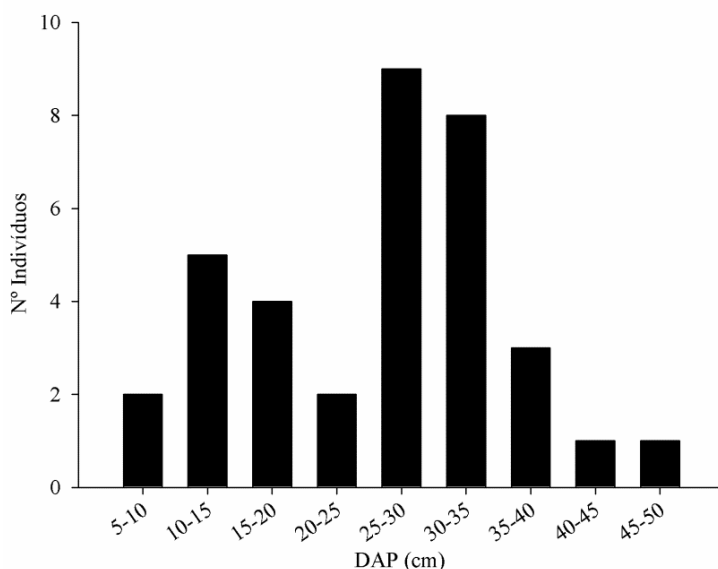


Figura 4. Distribuição do número de indivíduos amostrados por classe diamétrica de *H. alchorneoides*.

Para as estatísticas descritivas (Tabela 4), os dados agrupados para a espécie possuem menor variação, se comparados aos valores para a floresta, demonstrando que o agrupamento pode vir a melhorar os modelos de volume a serem ajustados. A dispersão dos volumes da espécie em relação ao DAP (Figura 5) apresenta, assim como nos dados para a floresta, tendência exponencial, tanto para os valores com casca, como para os sem casca, e também há o aumento da variação em direção as classes de maior diâmetro.

Tabela 4. Estatísticas descritivas para *H. alchorneoides*.

| Estatística | DAP | Ht | Hf | Ec | Vfuste com casca | Vtotal com casca | Vfuste sem casca | Vtotal sem casca |
|----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Mínimo | 6,2 | 6,5 | 4,4 | 1,29 | 0,0134 | 0,0139 | 0,0087 | 0,0091 |
| 1º Quartil | 17,9 | 16,3 | 7,2 | 6,00 | 0,2237 | 0,2299 | 0,1757 | 0,1803 |
| Mediana | 28,3 | 18,2 | 9,9 | 7,76 | 0,4064 | 0,7280 | 0,3435 | 0,5887 |
| Média | 25,7 | 17,8 | 9,7 | 8,16 | 0,4516 | 0,7813 | 0,3832 | 0,6350 |
| 3º Quartil | 32,3 | 20,0 | 11,6 | 10,00 | 0,6346 | 1,0396 | 0,5318 | 0,8348 |
| Máximo | 46,9 | 24,8 | 17,6 | 19,25 | 1,2795 | 2,6936 | 1,1176 | 2,1902 |
| Variância | 96,8 | 17,4 | 11,1 | 7,82 | 0,1111 | 0,4355 | 0,0862 | 0,3009 |
| Desvio padrão | 9,8 | 4,2 | 3,3 | 2,80 | 0,3334 | 0,6599 | 0,2936 | 0,5485 |

DAP = Diâmetro à Altura do Peito (cm); Ht = Altura Total (m); Hf = Altura de Fuste (m), Ec = Simples espessura de casca (mm) e V = Volume (m³).

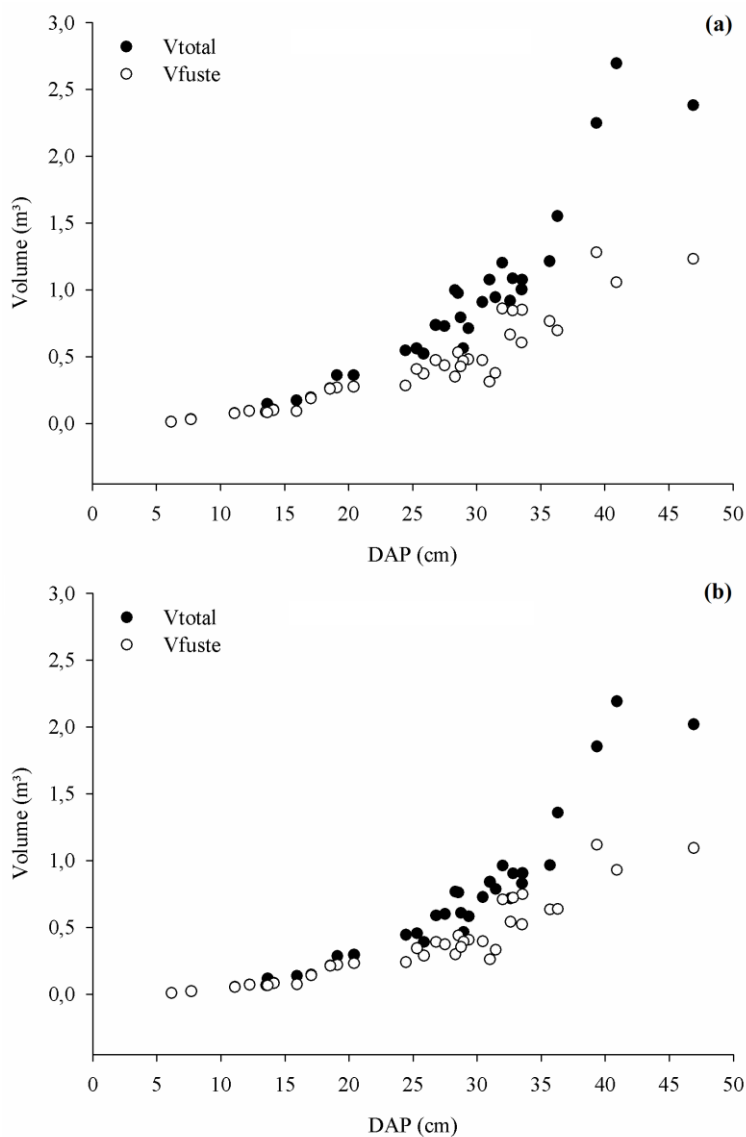


Figura 5. Dispersão dos volumes com casca (a) e sem casca (b) de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

De modo resumido, os sortimentos avaliados (Tabela 5) indicam que a maior parte do volume está contida no fuste, fato importante quando relacionado ao manejo visando à produção de madeira serrada. Os galhos, no entanto, ainda representam uma porção considerável do volume total, sendo importante levar em consideração essa matéria-prima, que de modo geral, é direcionada para o uso energético ou abandonada na floresta, sendo uma possível fonte de madeira, desde que se desenvolvam técnicas e mercados específicos.

Tabela 5. Valores Porcentuais obtidos a partir dos volumes médios referentes às 187 árvores amostradas (185 para os valores sem casca) para a floresta, e 35 para *H. alchorneoides*.

| Volume | Toco | Fuste | Galhos | Total* |
|-------------------------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
| Com casca - Floresta | 1,3 % | 62,9 % | 35,8 % | 100% |
| Sem casca - Floresta | 1,4 % | 65,1 % | 33,5 % | 83,7 % |
| Casca - Floresta | 0,7 % | 51,7 % | 47,6 % | 16,3 % |
| Com casca - <i>H. alchorneoides</i> | 1,2 % | 57,8 % | 41,0 % | 100% |
| Sem casca - <i>H. alchorneoides</i> | 1,4 % | 60,4 % | 38,3 % | 81,3 % |
| Casca - <i>H. alchorneoides</i> | 0,6 % | 46,7 % | 52,7 % | 18,7 % |

* valores percentuais da linha, em relação ao volume total com casca.

5.2 MODELOS DE VOLUME TOTAL PARA A FLORESTA

Em relação aos critérios para seleção dos modelos (Tabela 6), de modo geral os valores do Erro Padrão da Estimativa e do Coeficiente de Determinação Ajustado foram adequados, e muito próximos entre si,

comprovando que ambos os modelos apresentaram bons ajustes aos dados. Diferenças mais evidentes foram obtidas nas avaliações do Critério de Informação de Akaike e no Critério de Informação Bayesiano, sendo os Modelos 1 e 3 superiores aos demais. Através do Ranking geral, os Modelos 1 e 3 foram os melhores para o volume total com casca, e o Modelo 1 foi o superior para o volume total sem casca, porém muito próximo ao Modelo 3. Como o Modelo 1 se refere ao de Husch, e o 3 ao de Schumacher-hall (linearizado), pode-se concluir previamente que os modelos com a variável transformada (logarítmica), foram os que melhor se ajustaram aos dados. Para ambos os modelos destacados, todos os coeficientes foram significativos (Tabela 7). Desta forma, para que apenas um modelo seja selecionado, foram analisados os gráficos dos resíduos dos Modelos 1 e 3, tanto para o volume total com casca (Figura 6), quanto para o sem casca (Figura 7).

Tabela 6. Critérios de seleção dos modelos avaliados, em relação ao volume total, com e sem casca, para a floresta.

| Volume | Modelo | Syx | Syx (%) | C | $R^2_{aj.}$ | C | AIC | C | BIC | C | Rank. |
|------------------------|----------|---------------|-------------|----------|-------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|-----------|
| Total com casca | 1 | 0,1518 | 29,5 | 6 | 0,97 | 2 | 16,79 | 1 | 26,49 | 1 | 10 |
| | 2 | 0,1406 | 27,3 | 4 | 0,95 | 4 | -198,35 | 3 | -188,66 | 3 | 14 |
| | 3 | 0,1483 | 28,8 | 5 | 0,98 | 1 | -41,24 | 2 | -28,31 | 2 | 10 |
| | 4 | 0,1276 | 24,8 | 2 | 0,96 | 3 | -232,52 | 5 | -213,13 | 5 | 15 |
| | 5 | 0,1291 | 25,1 | 3 | 0,96 | 3 | -229,11 | 4 | -212,95 | 4 | 14 |
| | 6 | 0,1247 | 24,3 | 1 | 0,96 | 3 | -240,89 | 6 | -221,50 | 6 | 16 |
| Total sem casca | 1 | 0,1141 | 26,2 | 6 | 0,98 | 1 | 2,38 | 1 | 12,05 | 1 | 9 |
| | 2 | 0,1102 | 25,3 | 4 | 0,96 | 3 | -287,10 | 3 | -277,44 | 3 | 13 |
| | 3 | 0,1118 | 25,7 | 5 | 0,98 | 1 | -57,04 | 2 | -44,16 | 2 | 10 |
| | 4 | 0,0990 | 22,7 | 2 | 0,97 | 2 | -323,76 | 5 | -304,44 | 5 | 14 |
| | 5 | 0,1008 | 23,2 | 3 | 0,97 | 2 | -318,21 | 4 | -302,10 | 4 | 13 |
| | 6 | 0,0967 | 22,2 | 1 | 0,97 | 2 | -332,61 | 6 | -313,29 | 6 | 15 |

Syx = Erro Padrão da Estimativa; $R^2_{ajustado}$ = Coeficiente de Determinação Ajustado; AIC = Critério de Informação de Akaike; BIC = Critério de Informação Bayesiano; C = valor referente à classificação de cada modelo no critério avaliado e Rank. = Somatório da classificação dos critérios de seleção. Em negrito os modelos de destaque.

Tabela 7. Coeficientes dos modelos avaliados, em relação ao volume total, com e sem casca, para a floresta.

| Volume | Modelo | <i>b0</i> | <i>b1</i> | <i>b2</i> | <i>b3</i> | <i>b4</i> |
|------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------------|
| Total com casca | 1 | -9,353161 | 2,710278 | - | - | - |
| | 2 | 0,010669 ^{NS} | 0,000047 | - | - | - |
| | 3 | -10,045586 | 2,349493 | 0,640598 | - | - |
| | 4 | 0,020121 ^{NS} | -0,002416 ^{NS} | 0,000696 | -0,000450 ^{NS} | 0,000031 |
| | 5 | 0,049422 ^{NS} | 0,000497 | 0,000030 | -0,008108 | - |
| | 6 | -0,045741 ^{NS} | 0,000191 ^{NS} | 0,000068 | -0,000064 | 0,000680 ^{NS} |
| Total sem casca | 1 | -9,495131 | 2,698192 | - | - | - |
| | 2 | 0,003505 ^{NS} | 0,000040 | - | - | - |
| | 3 | -10,206982 | 2,348857 | 0,634736 | - | - |
| | 4 | 0,033057 ^{NS} | -0,004325 ^{NS} | 0,000613 | -0,000350 ^{NS} | 0,000027 |
| | 5 | 0,049941 ^{NS} | 0,000382 | 0,000027 | -0,007538 | - |
| | 6 | -0,038219 ^{NS} | 0,000118 ^{NS} | 0,000060 | -0,000055 | 0,000576 |

^{NS}coeficiente não significativo pelo teste *t* a um nível de probabilidade de 5%. “*b0*”, “*b1*”, “*b2*”, “*b3*” e “*b4*” se referem aos coeficientes dos modelos.

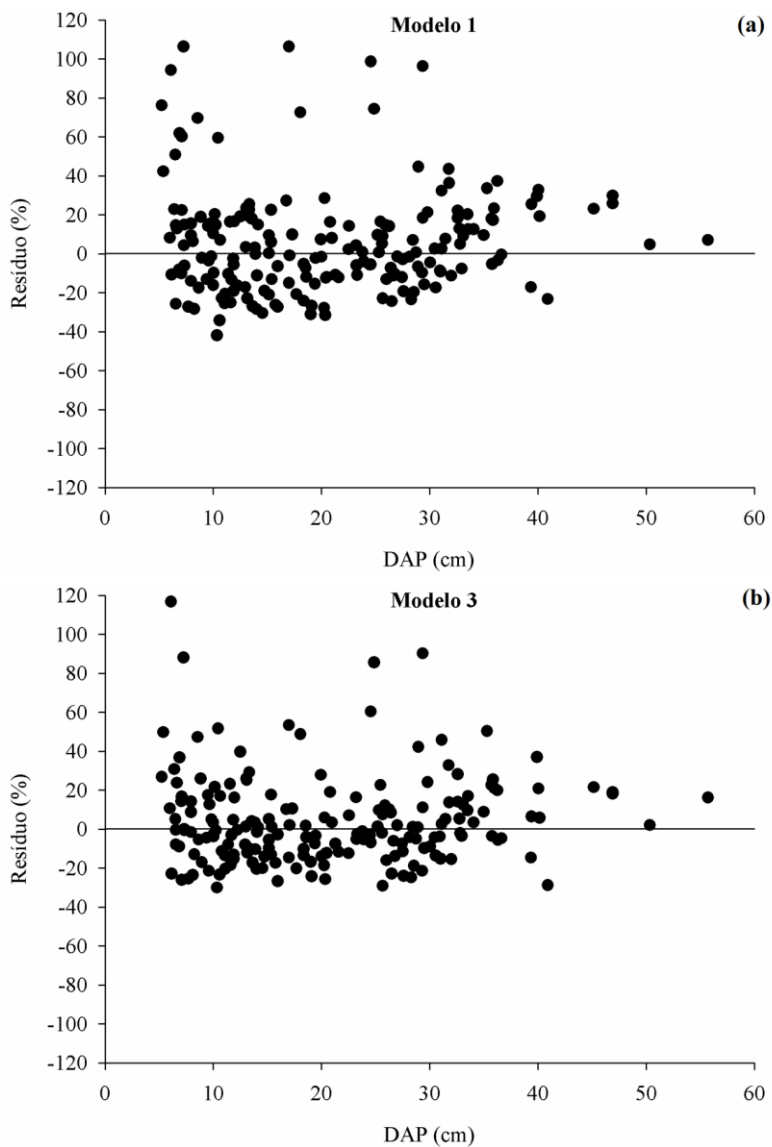


Figura 6. Resíduos percentuais do Modelo 1 - Husch (a) e do Modelo 3 - Schumacher-hall (b) para estimativa do volume total com casca da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

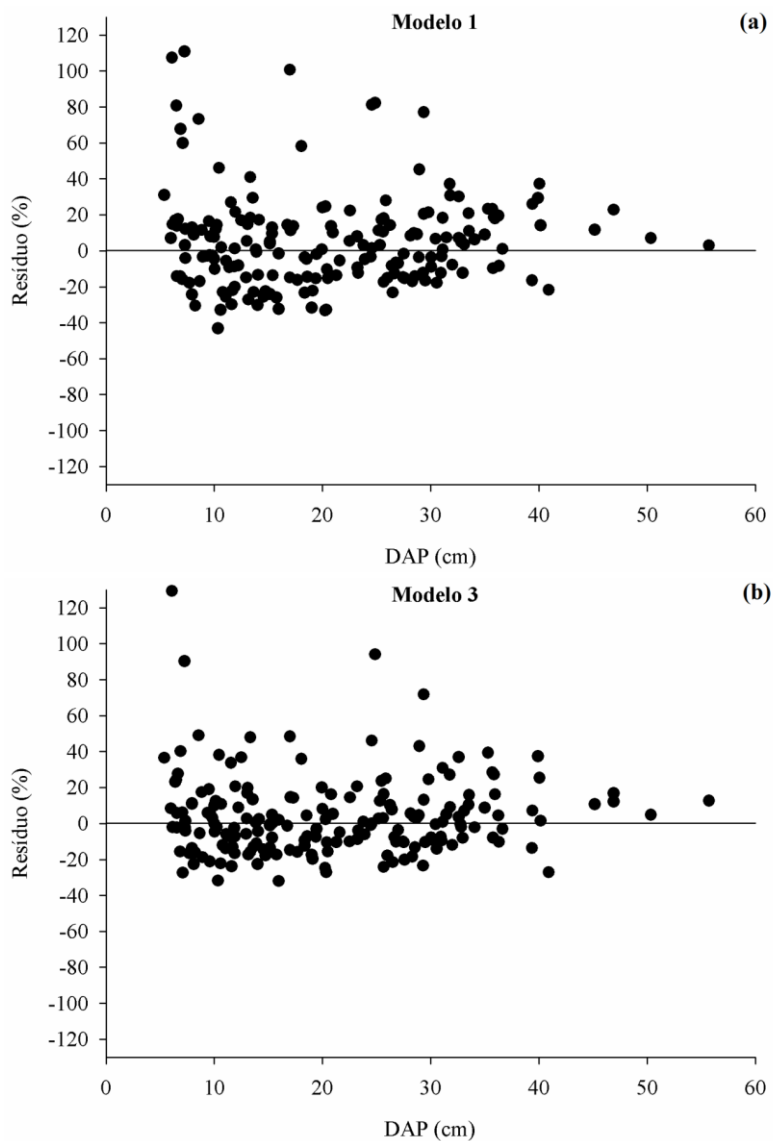


Figura 7. Resíduos percentuais do Modelo 1 - Husch (a) e do Modelo 3 - Schumacher-hall (b) para estimativa do volume total sem casca da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

A Figura 6 demonstra que tanto no Modelo 1 quanto no 3, a maioria dos resíduos estão bem distribuídos em relação as classes diamétricas, estando concentrados entre -40% e 40%. Há uma tendência de superestimação nas classes de diâmetro inferiores (menores que 30 cm) em ambos os modelos, com resíduos alcançando valores de até cerca de 120%. No Modelo 1 (Figura 6a) há um número maior de dados mal distribuídos nas classes inferiores em relação ao Modelo 3 (Figura 6b), sendo portanto o Modelo 3 preferível ao anterior para prever valores de volume total com casca para a floresta analisada.

Na Figura 7, um comportamento similar foi observado, novamente com a maioria dos resíduos distribuídos entre -40% e 40% em ambos os modelos, e ainda com uma tendência de superestimação dos valores nas classes de diâmetro inferiores a 30 cm. Porém neste caso a amplitude foi menor, principalmente no Modelo 3 (Figura 7b), com poucos valores ultrapassando 60%. Deste modo, o Modelo 3 apresenta comportamento superior em relação ao 1 (Figura 7a), sendo portanto, mais eficiente para estimativas de volume total sem casca para o caso em questão.

Nunes (2013), em um dos poucos trabalhos que relatam descrições de modelos de volume total com casca (até 5 cm de diâmetro) para espécies nativas, no caso para Floresta Ombrófila Densa do estado de São Paulo, obteve também um bom ajuste, com um Coeficiente de Determinação Ajustado de 0,97, valor próximo ao encontrado no presente trabalho. No caso de modelos de volume total sem casca, não foram encontrados trabalhos similares que possibilitassem comparações.

5.3 MODELOS DE VOLUME DE FUSTE PARA A FLORESTA

Em relação ao volume de fuste com casca, os valores de ajustes foram bons (Tabela 8), demonstrados pelos baixos valores do Erro Padrão da Estimativa, assim como altos valores do Coeficiente de Determinação Ajustado. O Modelo 3 destacou-se, apresentando um baixo valor do Erro Padrão da Estimativa e um alto valor do Coeficiente de Determinação Ajustado, além de bons valores de *AIC* e *BIC*. Para o volume sem casca os resultados foram muito similares, com bons ajustes, e novamente com destaque para o Modelo 3, com a mesma colocação do volume com casca. Todos os coeficientes foram significativos para o Modelo 3 (Tabela 9), em ambos os volumes. Com base nestes resultados, procedeu-se as análise gráficas dos resíduos para o Modelo 3 de volume de fuste com casca (Figura 8), e também do Modelo 3 para o volume de fuste sem casca (Figura 9).

Tabela 8. Critérios de seleção dos modelos avaliados, em relação ao volume de fuste, com e sem casca, para a floresta.

| Volume | Modelo | Syx | Syx (%) | C | $R^2_{aj.}$ | Vp | AIC | C | BIC | C | Rank. |
|-----------------|----------|---------------|-------------|----------|-------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|----------|
| Fuste com casca | 1 | 0,1142 | 35,3 | 6 | 0,95 | 4 | 105,62 | 1 | 115,31 | 1 | 12 |
| | 2 | 0,0768 | 23,7 | 5 | 0,96 | 3 | -425,19 | 3 | -415,50 | 3 | 14 |
| | 3 | 0,0507 | 15,7 | 2 | 0,99 | 1 | -196,64 | 2 | -183,72 | 2 | 7 |
| | 4 | 0,0527 | 16,3 | 3 | 0,98 | 2 | -563,02 | 5 | -543,64 | 5 | 15 |
| | 5 | 0,0543 | 16,8 | 4 | 0,98 | 2 | -552,79 | 4 | -536,64 | 4 | 14 |
| | 6 | 0,0483 | 14,9 | 1 | 0,98 | 2 | -595,48 | 6 | -576,09 | 6 | 15 |
| Fuste sem casca | 1 | 0,0959 | 33,8 | 6 | 0,95 | 3 | 95,75 | 1 | 105,41 | 1 | 11 |
| | 2 | 0,0728 | 25,7 | 5 | 0,95 | 3 | -440,22 | 3 | -430,56 | 3 | 14 |
| | 3 | 0,0468 | 16,5 | 2 | 0,99 | 1 | -166,95 | 2 | -154,06 | 2 | 7 |
| | 4 | 0,0489 | 17,3 | 3 | 0,98 | 2 | -584,78 | 5 | -565,45 | 5 | 15 |
| | 5 | 0,0516 | 18,2 | 4 | 0,98 | 2 | -565,55 | 4 | -549,44 | 4 | 14 |
| | 6 | 0,0445 | 15,7 | 1 | 0,98 | 2 | -619,38 | 6 | -600,06 | 6 | 15 |

Syx = Erro Padrão da Estimativa; $R^2_{ajustado}$ = Coeficiente de Determinação Ajustado; AIC = Critério de Informação de Akaike; BIC = Critério de Informação Bayesiano; C = valor referente à classificação de cada modelo no critério avaliado e Rank. = Somatório da classificação dos critérios de seleção. Em negrito os modelos de destaque.

Tabela 9. Coeficientes dos modelos avaliados, em relação ao volume de fuste, com e sem casca, para a floresta.

| Volume | Modelo | <i>b0</i> | <i>b1</i> | <i>b2</i> | <i>b3</i> | <i>b4</i> |
|------------------------|---------------|-------------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| Fuste com casca | 1 | -8,839886 | 2,419584 | - | - | - |
| | 2 | 0,018760 | 0,000056 | - | - | - |
| | 3 | -9,285656 | 2,100113 | 0,665269 | - | - |
| | 4 | 0,043718 ^{NS} | -0,008695 | 0,000467 | 0,000304 ^{NS} | 0,000027 |
| | 5 | -0,010852 ^{NS} | 0,000252 | 0,000037 | -0,000647 ^{NS} | - |
| | 6 | -0,018057 | 0,000118 | 0,000065 | -0,000075 | 0,000947 |
| Fuste sem casca | 1 | -9,029642 | 2,431297 | - | - | - |
| | 2 | 0,011545 ^{NS} | 0,000049 | - | - | - |
| | 3 | -9,504432 | 2,140098 | 0,637631 | - | - |
| | 4 | 0,053711 | -0,009812 | 0,000471 | 0,000259 ^{NS} | 0,000022 |
| | 5 | -0,006918 ^{NS} | 0,000226 | 0,000033 | -0,001835 ^{NS} | - |
| | 6 | -0,019814 | 0,000089 | 0,000061 | -0,000077 | 0,000929 |

^{NS}coeficiente não significativo pelo teste *t* a um nível de probabilidade de 5%. “*b0*”, “*b1*”, “*b2*”, “*b3*” e “*b4*” se referem aos coeficientes dos modelos.

O gráfico de resíduos para o Modelo 3 em relação ao volume com casca (Figura 8), demonstra que de modo geral os resíduos estão bem distribuídos, entre os valores de -20% e 40%, demonstrando ser adequado, porém com uma tendência em superestimar os volumes. Para o volume sem casca (Figura 9), o gráfico de resíduos do Modelo 3 apresentou um comportamento muito similar em relação ao volume com casca, o que era esperado devido aos valores muito próximos do ajuste do modelo, demonstrando este também ser adequado para as estimativas em questão.

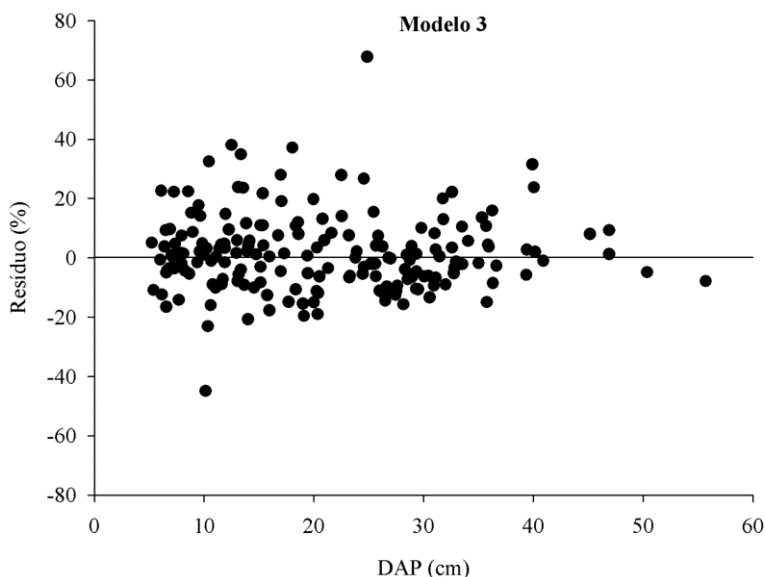


Figura 8. Resíduos percentuais do Modelo 3 (Schumacher-hall) para estimativa do volume de fuste com casca da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

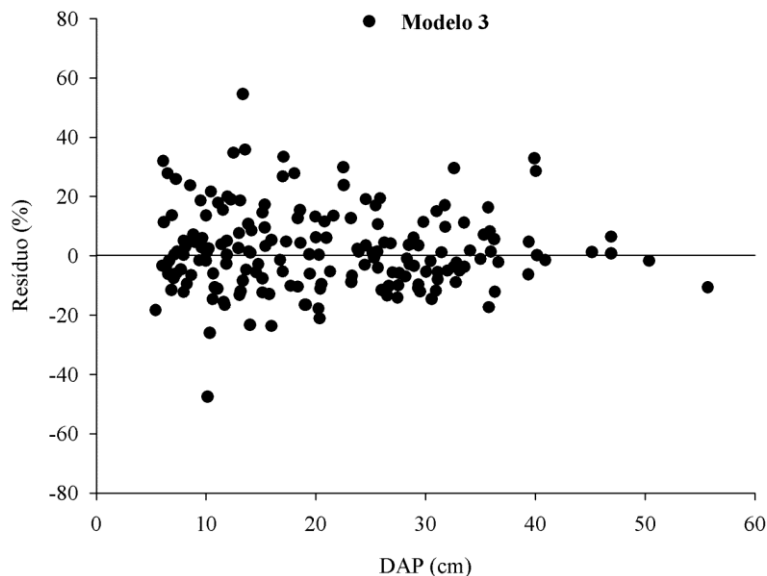


Figura 9. Resíduos percentuais do Modelo 3 (Schumacher-hall) para estimativa do volume de fuste sem casca da floresta em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

Jorge (1982), em pesquisas para Floresta Ombrófila Densa do Espírito Santo, também obteve o modelo de Schumacher-hall entre os de melhor ajuste para volume comercial com casca, com valores do Coeficiente de Determinação Ajustado acima de 0,90, semelhante ao presente estudo, e Erro Padrão de 12%, inferior ao encontrado neste trabalho, e com resíduos distribuídos de forma próxima, entre os valores de -30 e 30%. Chichorro et al. (2003), ajustaram o modelo de Schumacher-hall para uma floresta secundária deste mesmo tipo florestal do Espírito Santo, e obtiveram um Coeficiente de Determinação Ajustado de 0,98.

De forma similar, em estudos de Floresta Ombrófila Densa do Espírito Santo, Souza e Jesus (1991) obtiveram indícios de que o modelo de Schumacher-hall seria o mais adequado para a floresta analisada, embora os autores estivessem trabalhando com modelos de espécies individuais. Da mesma forma, Vibrans et al. (2012b), encontraram o modelo de Schumacher-hall (adaptado), como sendo o mais adequado para estimativas de volume de fuste com casca para a Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina, com um Coeficiente de Determinação Ajustado de 0,93, e o Erro Padrão de 2,19%. Além dos trabalhos já apresentados, Silveira (2008), também obteve bons ajustes para modelos de volume comercial com casca em Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina, com Coeficiente de Determinação Ajustado de 0,97 e Erro Padrão por volta de 13%, porém com modelo não logarítmico (Stoate).

Desta forma os bons ajustes obtidos neste trabalho corroboram com aqueles encontrados na literatura disponível. Esse fato pode ainda ser um indicativo da qualidade dos modelos de volume de fuste sem casca, frente à indisponibilidade de literatura para comparações diretas.

5.4 MODELOS DE VOLUME TOTAL PARA *H. alchorneoides*

Um ponto importante a ser destacado previamente em relação aos Coeficientes (Tabela 11), é que os Modelos 4, 5 e 6, tanto para volume com casca como sem casca, apresentaram todos os seus coeficientes não significativos, demonstrando que estes modelos não se ajustaram ao conjunto de dados, sendo, portanto, não adequados ao uso proposto. De modo similar, o Modelo 3 apresentou o coeficiente “ b_2 ”

não significativo, o que resultaria na mesma forma matemática do Modelo 1.

Os critérios avaliados para o volume com casca (Tabela 10), demonstram bons ajustes, sobretudo para os Modelos 1 e 3, com destaque para os valores do Coeficiente de Determinação Ajustado e do Erro Padrão da Estimativa. Porém para os valores dos Critérios de Informação de Akaike e Bayesiano o Modelo 2 apresentou os melhores valores. Devido aos valores próximos do Ranking final entre os Modelos 1, 2 e 3, sugere-se que ambos deveriam ser submetidos à análise gráfica dos resíduos, entretanto o Modelo 3 apresentou o coeficiente “ b_2 ” não significativo (Tabela 11), o que resultaria na mesma forma matemática do Modelo 1, desta forma prefere-se esse, levando-se em conta a busca da forma mais simples possível dos modelos. Para o volume sem casca o comportamento foi similar (Tabela 10), porém com destaques para o Modelos 1, seguido pelo Modelo 3, e de mesma forma o Modelo 3 apresentou o coeficiente “ b_2 ” não significativo (Tabela 11), sendo, portanto, o Modelo 1 preferível.

Tabela 10. Critérios de seleção dos modelos avaliados, em relação ao volume total, com e sem casca, para *H. alchorneoides*.

| Volume | Modelo | Syx | Syx (%) | C | $R^2_{aj.}$ | C | AIC | C | BIC | C | Rank. |
|------------------------|----------|---------------|-------------|----------|-------------|----------|---------------|----------|--------------|----------|-----------|
| Total com casca | 1 | 0,1948 | 24,9 | 1 | 0,98 | 1 | -13,49 | 5 | -8,82 | 6 | 13 |
| | 2 | 0,2123 | 27,2 | 5 | 0,90 | 3 | -5,20 | 1 | -0,54 | 1 | 10 |
| | 3 | 0,2016 | 25,8 | 2 | 0,98 | 1 | -13,96 | 6 | -7,74 | 5 | 14 |
| | 4 | 0,2012 | 25,8 | 2 | 0,91 | 2 | -6,30 | 3 | 3,04 | 3 | 10 |
| | 5 | 0,2025 | 25,9 | 3 | 0,91 | 2 | -6,70 | 4 | 1,08 | 2 | 11 |
| | 6 | 0,2040 | 26,1 | 4 | 0,90 | 3 | -5,34 | 2 | 4,00 | 4 | 13 |
| Total sem casca | 1 | 0,1543 | 24,3 | 1 | 0,98 | 1 | -11,40 | 1 | -6,73 | 2 | 5 |
| | 2 | 0,1700 | 26,8 | 5 | 0,90 | 4 | -20,79 | 3 | -16,12 | 6 | 18 |
| | 3 | 0,1607 | 25,3 | 3 | 0,98 | 1 | -12,74 | 2 | -6,52 | 1 | 7 |
| | 4 | 0,1595 | 25,1 | 2 | 0,92 | 2 | -22,58 | 6 | -13,25 | 4 | 14 |
| | 5 | 0,1616 | 25,4 | 4 | 0,91 | 3 | -22,51 | 5 | -14,74 | 5 | 17 |
| | 6 | 0,1615 | 25,4 | 4 | 0,91 | 3 | -21,68 | 4 | -12,34 | 3 | 14 |

Syx = Erro Padrão da Estimativa; $R^2_{ajustado}$ = Coeficiente de Determinação Ajustado; AIC = Critério de Informação de Akaike; BIC = Critério de Informação Bayesiano; C = valor referente à classificação de cada modelo no critério avaliado e Rank. = Somatório da classificação dos critérios de seleção. Em negrito os modelos de destaque.

Tabela 11. Coeficientes dos modelos avaliados, em relação ao volume total, com e sem casca, para *H. alchorneoides*.

| Volume | Modelo | <i>b0</i> | <i>b1</i> | <i>b2</i> | <i>b3</i> | <i>b4</i> |
|------------------------|--------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Total com casca | 1 | -8,653572 | 2,510792 | - | - | - |
| | 2 | -0,012572 ^{NS} | 0,000052 | - | - | - |
| | 3 | -9,168259 | 2,295308 | 0,418023 ^{NS} | - | - |
| | 4 | 0,357845 ^{NS} | -0,068873 ^{NS} | 0,002983 ^{NS} | 0,001209 ^{NS} | -0,000043 ^{NS} |
| | 5 | 0,135862 ^{NS} | 0,000903 ^{NS} | 0,000021 ^{NS} | -0,019732 ^{NS} | - |
| | 6 | -0,035748 ^{NS} | 0,000591 ^{NS} | 0,000054 ^{NS} | -0,000051 ^{NS} | 0,000165 ^{NS} |
| Total sem casca | 1 | -9,133975 | 2,590031 | - | - | - |
| | 2 | -0,027545 ^{NS} | 0,000044 | - | - | - |
| | 3 | -9,745675 | 2,333930 | 0,496815 ^{NS} | - | - |
| | 4 | 0,301416 ^{NS} | -0,055254 ^{NS} | 0,002385 ^{NS} | 0,000790 ^{NS} | -0,000029 ^{NS} |
| | 5 | 0,142043 ^{NS} | 0,000672 ^{NS} | 0,000021 ^{NS} | -0,019082 ^{NS} | - |
| | 6 | -0,030486 ^{NS} | 0,000347 ^{NS} | 0,000057 ^{NS} | -0,000056 ^{NS} | 0,000272 ^{NS} |

^{NS}coeficiente não significativo pelo teste *t* a um nível de probabilidade de 5%. “*b0*”, “*b1*”, “*b2*”, “*b3*” e “*b4*” se referem aos coeficientes dos modelos.

Para verificar tendenciosidades foi realizada a análise gráfica dos resíduos para os Modelos 1 e 2 em relação ao volume com casca (Figura 10), e para o Modelo 1 em relação ao volume sem casca (Figura 11).

A análise dos resíduos dos Modelos 1 e 2 para o volume com casca (Figura 10), indica que o Modelo 1 possui uma distribuição adequada dos mesmos, com a maioria dos valores entre -20% e 20%, enquanto o Modelo 2 possui pontos mais discrepantes, com uma distribuição entre -40% e 40%, com um ponto chegando próximo a 100%, sendo, portanto, o Modelo 1 o mais indicado. Em relação ao volume sem casca, o gráfico dos resíduos do Modelo 1 (Figura 11) demonstra uma distribuição homogênea dos mesmos, concentrados entre -20% e 20%, reafirmando a qualidade do modelo, porém com uma leve tendência de superestimação dos valores preditos, chegando alguns pontos próximos a 40%.

Não foram encontradas referências para comparação direta de modelos de volume total para *H. alchorneoides*, ou de outras espécies similares. Entretanto a comparação com as estimativas da floresta (todas as espécies) leva a concluir que os modelos específicos possuem comportamento muito semelhante, ambos com modelos logarítmicos, embora o específico seja de simples entrada (apenas DAP), e com o mesmo valor do Coeficiente de Determinação Ajustado, porém com melhores valores do Erro Padrão da Estimativa e distribuição dos resíduos, tanto para volume com, como para sem casca.

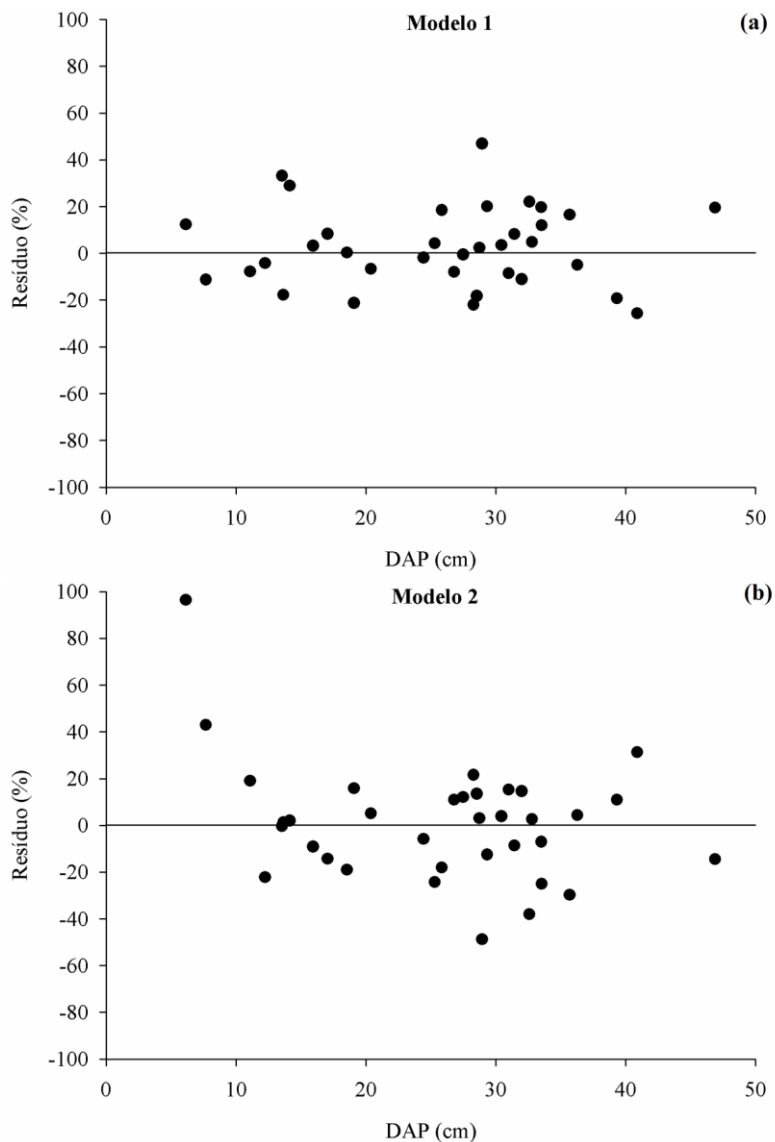


Figura 10. Resíduos percentuais do Modelo 1 - Husch (a) e do Modelo 2 - Schumacher-hall (b) para estimativa do volume total com casca de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

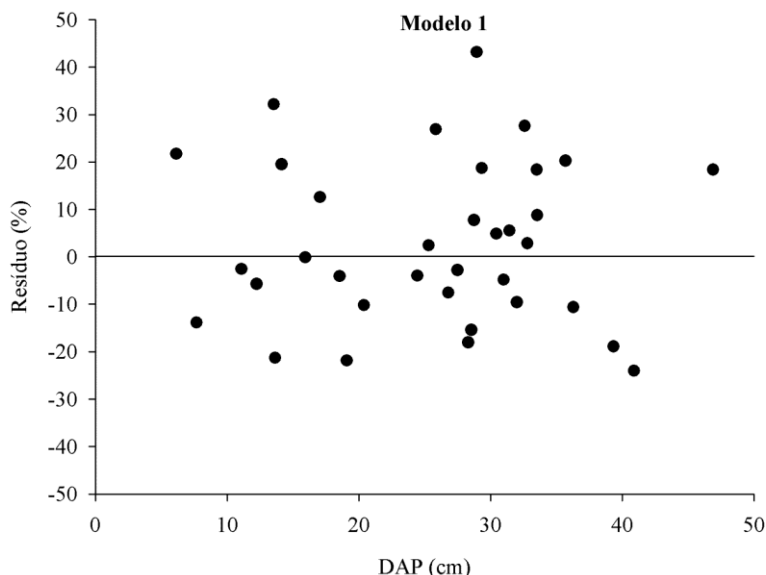


Figura 11. Resíduos percentuais do Modelo 1 (Husch) para estimativa do volume total sem casca de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

5.5 MODELOS DE VOLUME DE FUSTE PARA *H. alchorneoides*

Os valores dos critérios avaliados nos modelos (Tabela 12) demonstram bons ajustes, com resultados muito próximos entre os modelos com e sem casca. Em relação ao Coeficiente de Determinação Ajustado se destacaram os Modelos 3, 4, 5 e 6, novamente tanto para o volume com casca como o sem casca, e de mesma forma se comportou o Erro Padrão da Estimativa para estes modelos, com valores muito próximos a 10%. Nos valores de *AIC* e *BIC*, porém, se destacaram os Modelos 1 e 3 (para ambos os volumes).

É importante destacar ainda que os resultados referentes aos coeficientes obtidos (Tabela 13) denotam que os Modelos 2, 4 e 6, possuem coeficientes não significativos, que caso fossem excluídos, resultariam na mesma forma matemática, podendo ser, portanto, os Modelos 4 e 6 redundantes ao Modelo 2. Por estas razões, e devido à colocação superior no ranking final, o Modelo 3 pode ser considerado superior em relação aos demais, sendo o selecionado para a análise gráfica dos resíduos nos dois tipos de volume avaliados (Figuras 12 e 13).

Tabela 12. Critérios de seleção dos modelos avaliados, em relação ao volume de fuste, com e sem casca, para *H. alchorneoides*.

| Volume | Modelo | Syx | Syx (%) | C | $R^2_{aj.}$ | C | AIC | C | BIC | C | Rank. |
|-----------------|----------|---------------|-------------|----------|-------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|----------|
| Fuste com casca | 1 | 0,1161 | 25,7 | 5 | 0,95 | 4 | -0,51 | 1 | 4,16 | 1 | 11 |
| | 2 | 0,0699 | 15,5 | 4 | 0,96 | 3 | -83,03 | 3 | -78,37 | 3 | 13 |
| | 3 | 0,0462 | 10,2 | 3 | 0,99 | 1 | -46,40 | 2 | -40,18 | 2 | 8 |
| | 4 | 0,0453 | 10,0 | 2 | 0,98 | 2 | -110,71 | 4 | -101,38 | 4 | 12 |
| | 5 | 0,0450 | 10,0 | 2 | 0,98 | 2 | -112,00 | 6 | -104,23 | 6 | 16 |
| | 6 | 0,0446 | 9,9 | 1 | 0,98 | 2 | -111,72 | 5 | -102,39 | 5 | 13 |
| Fuste sem casca | 1 | 0,0985 | 25,7 | 5 | 0,96 | 3 | 0,43 | 1 | 5,10 | 1 | 10 |
| | 2 | 0,0710 | 18,5 | 4 | 0,94 | 4 | -81,92 | 3 | -77,25 | 3 | 14 |
| | 3 | 0,0456 | 11,9 | 2 | 0,99 | 1 | -35,67 | 2 | -29,45 | 2 | 7 |
| | 4 | 0,0457 | 11,9 | 2 | 0,98 | 2 | -110,07 | 5 | -100,73 | 4 | 13 |
| | 5 | 0,0464 | 12,1 | 3 | 0,98 | 2 | -109,82 | 4 | -102,04 | 6 | 15 |
| | 6 | 0,0454 | 11,8 | 1 | 0,98 | 2 | -110,55 | 6 | -101,22 | 5 | 14 |

Syx = Erro Padrão da Estimativa; $R^2_{ajustado}$ = Coeficiente de Determinação Ajustado; AIC = Critério de Informação de Akaike; BIC = Critério de Informação Bayesiano; C = valor referente à classificação de cada modelo no critério avaliado e Rank. = Somatório da classificação dos critérios de seleção. Em negrito os modelos de destaque.

Tabela 13. Coeficientes dos modelos avaliados, em relação ao volume de fuste, com e sem casca, para *H. alchorneoides*.

| Volume | Modelo | <i>b0</i> | <i>b1</i> | <i>b2</i> | <i>b3</i> | <i>b4</i> |
|------------------------|--------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Fuste com casca | 1 | -7,838087 | 2,115691 | - | - | - |
| | 2 | 0,020976 ^{NS} | 0,000058 | - | - | - |
| | 3 | -8,846189 | 2,053026 | 0,545081 | - | - |
| | 4 | 0,007039 ^{NS} | 0,003070 ^{NS} | 0,000102 ^{NS} | -0,000543 ^{NS} | 0,000057 |
| | 5 | 0,033885 ^{NS} | 0,000172 | 0,000046 | -0,005442 | - |
| | 6 | 0,011716 ^{NS} | 0,000122 ^{NS} | 0,000056 | -0,000026 ^{NS} | 0,000027 ^{NS} |
| Fuste sem casca | 1 | -8,410362 | 2,234814 | - | - | - |
| | 2 | 0,006836 ^{NS} | 0,000051 | - | - | - |
| | 3 | -9,374095 | 2,174907 | 0,521091 | - | - |
| | 4 | 0,025838 ^{NS} | -0,000216 ^{NS} | 0,000171 ^{NS} | -0,000509 ^{NS} | 0,000049 |
| | 5 | 0,020928 ^{NS} | 0,000171 | 0,000039 | -0,005587 ^{NS} | - |
| | 6 | -0,004742 ^{NS} | 0,000096 ^{NS} | 0,000055 | -0,000043 ^{NS} | 0,000258 ^{NS} |

^{NS}coeficiente não significativo pelo teste *t* a um nível de probabilidade de 5%. “*b0*”, “*b1*”, “*b2*”, “*b3*” e “*b4*” se referem aos coeficientes dos modelos.

Os gráficos de resíduos apresentam comportamento muito similar (Figura 12 e 13), com grande parte dos valores entre -10% e 10%, sem tendências evidentes ao longo das classes de diâmetro. Deste modo, demonstra-se a eficiência dos modelos, evidenciando que o Modelo 3 é indicado para estimativas de volume de fuste, tanto com casca quanto sem casca, para *H. alchorneoides*.

Vibrans et al (2012b), obtiveram modelos específicos para volume de fuste com casca de *H. alchorneoides*, chegando também ao modelo de Schumacher-hall (adaptado) como o mais adequado, com um valor próximo de Coeficiente de Determinação Ajustado, de 0,97, porém com um Erro Padrão inferior, equivalente a 1,10%. De forma similar, porém para outras espécies, Souza e Jesus (1991), obtiveram resultados satisfatórios para Floresta Ombrófila Densa do Espírito Santo, com Coeficientes de Determinação ajustado variando de 0,95 a 0,99, e Erros Padrões variando de 5 a 11%, sendo ainda o modelo de Schumacher-hall o melhor para a maioria das espécies estudadas. Schuch et al. (2008), para *Miconia cinnamomifolia*, outra espécie secundária característica da Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina, também obteve bom ajuste para modelo de volume comercial com casca, com um Coeficiente de Determinação de 0,97, porém com um modelo não logarítmico, assim como Oller (2011), para *Tibouchina pulchra*, com Coeficiente de Determinação Ajustado de 0,95.

A proximidade dos resultados obtidos para os ajustes com a literatura, embora pouco extensa, indica a qualidade do modelo de volume de fuste com casca encontrado. Ainda se comparado ao modelo geral obtido (item 5.3), os resultados foram muito próximos, porém com

melhores valores do Erro Padrão da Estimativa, e da distribuição dos resíduos.

Para o volume de fuste sem casca, em comparação com o modelo para a floresta, os resultados foram similares, com valores próximos, porém com pouca superioridade do modelo específico em relação ao Erro Padrão da Estimativa e a distribuição gráfica dos resíduos.

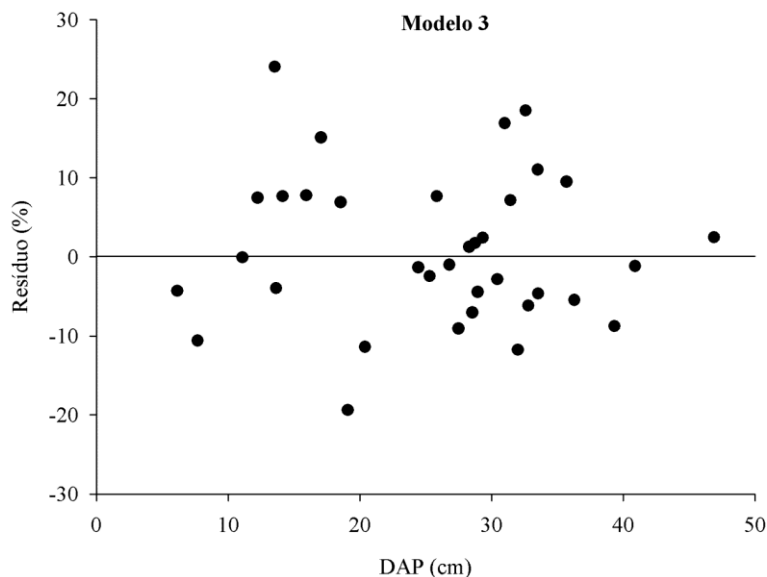


Figura 12. Resíduos percentuais do Modelo 3 (Schumacher-hall) para estimativa do volume de fuste com casca de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

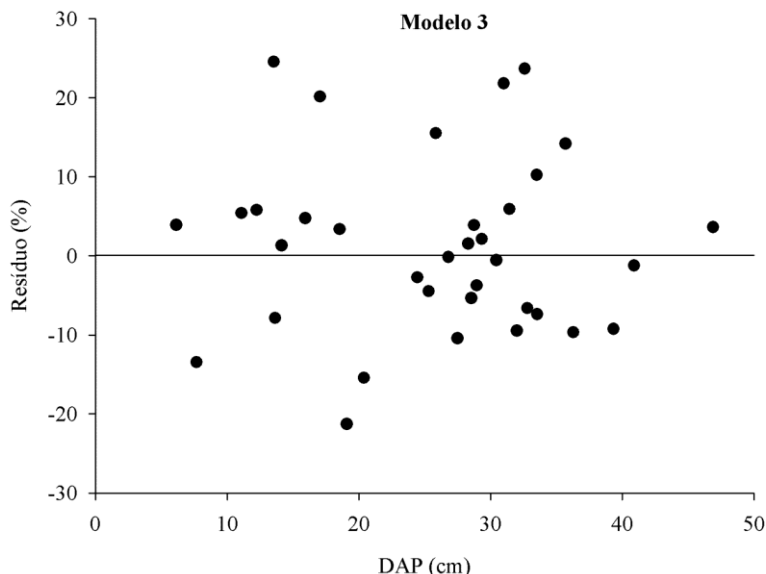


Figura 13. Resíduos percentuais do Modelo 3 (Schumacher-hall) para estimativa do volume de fuste sem casca de *H. alchorneoides* em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

5.6 FATOR DE FORMA

Para as espécies agrupadas foi obtido um fator de forma normal médio ($f_{l,3}$) de 0,8027 (Desvio padrão = 0,1405), e de 0,7962 (Desvio padrão = 0,1353) para *H. alchorneoides*. Os poucos relatos de fatores de forma para espécies nativas da Mata Atlântica, embora para outras formações, descrevem um fator de forma de 0,77, para Floresta Ombrófila Mista do Rio Grande do Sul (em estágio médio e avançado de regeneração), conforme Borsoi (2005), e de 0,827 para Floresta Estacional Semidecidual de Minas Gerais, de acordo com Scolforo et al. (1994). De modo específico para Floresta Ombrófila Densa, em Santa

Catarina foi obtido um fator de forma de 0,92 para *Miconia cinnamomifolia* (SCHUCH et al., 2008), assim como para o estado do Espírito Santo, com valores de 0,6293; 0,6137; 0,7027 e 0,6792, para as espécies *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud.; *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze, *Bowdichia virgilioides* Kunth e *Joannesia princeps* Vell, respectivamente (SOUZA; JESUS, 1991). Além destes, Durlo e Denardi (2009), em estudos de *Cabralea canjerana* para Floresta Estacional Decidual do Rio Grande do Sul, encontraram um valor de 0,84.

Denota-se desta forma, a grande variabilidade dos valores de fatores de forma para espécies nativas, ressalvas as diferenças nas metodologias, estando possivelmente os resultados obtidos coerentes com a realidade.

A Análise de Variância comparativa entre as estimativas realizadas com o uso do modelo selecionado nos itens 5.3 (para volume de fuste com casca das espécies agrupadas) e 5.5 (para volume de fuste com casca de *H. alchorneoides*), com as estimativas obtidas através do fator de forma normal, demonstrou não haver diferenças significativas entre os três volumes comparados para a floresta ($F_{\text{calc}} = 0,17$ e $p = 0,85$), assim como para *H. alchorneoides* ($F_{\text{calc}} = 0,03$ e $p = 0,97$). Souza e Jesus também não encontraram diferenças significativas entre estimativas por meio do fator de forma e dos modelos, assim como Scolforo et al. (1994).

Foram elaborados ainda os gráficos residuais (Figuras 14 e 15), para auxiliar na detecção de problemas nas estimativas obtidas por meio do uso do fator de forma, contrapondo às estimativas por meio dos modelos. Comparando-se a Figura 14 com a Figura 8 (referente à

estimativa pelo modelo), denota-se que o fator de forma possui uma amplitude maior dos resíduos, entre -40% e 40%, com tendência em superestimar volumes, chegando a valores mais extremos se comparados às estimativas através do modelo. Em relação à *H. alchorneoides*, comparando-se a Figura 15 com a Figura 12, denota-se uma maior amplitude nos resíduos dos volumes estimados a partir do fator de forma, com valores concentrados entre -20% e 20%, com pontos ultrapassando 40%, com novamente uma tendência a superestimar os valores.

Portanto, tanto para as espécies agrupadas, como para *H. alchorneoides*, as estimativas através dos modelos selecionados se demonstraram preferíveis em relação às através dos fatores de forma normal obtidos. Entretanto não se deve descartar o uso do fator de forma, pois, não foram encontradas diferenças significativas entre as estimativas e os valores reais, salientando-se a praticidade da aplicação do uso do fator de forma no cálculo de volumes.

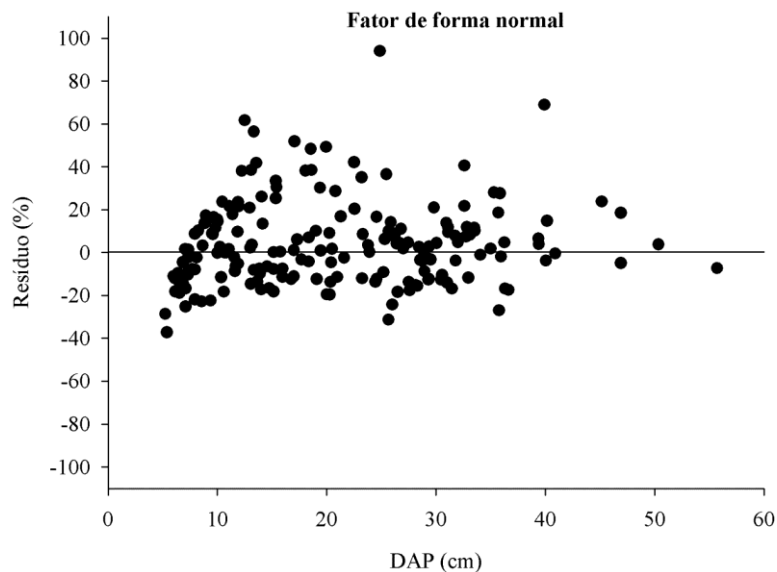


Figura 14. Resíduos percentuais da estimativa do volume de fuste com casca da floresta a partir do fator de forma normal, em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

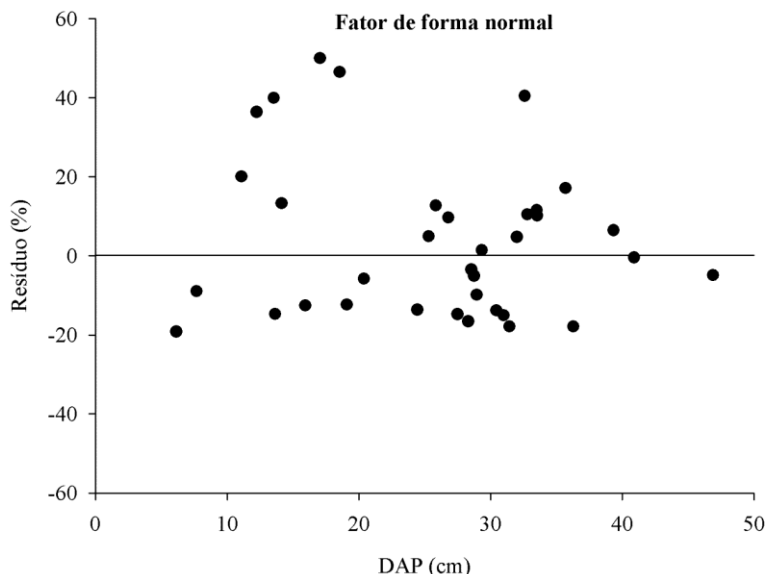


Figura 15. Resíduos percentuais da estimativa do volume de fuste com casca de *H. alchorneoides* a partir do fator de forma normal, em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

5.7 FATOR DE CASCA

O fator de casca (K) obtido para as espécies agrupadas, em relação ao volume de fuste, foi de 0,9301, e para *H. alchorneoides* foi de 0,9212. Os raros relatos em torno do fator de casca de espécies nativas da Mata Atlântica, são descritos por Schuch et al. (2008), que traz um valor de 0,91 para *Miconia cinnamomifolia*, e por Borsoi (2005), com um fator de casca de 0,9456 para as espécies avaliadas, embora esta última se trate de Floresta Ombrófila Mista do Rio Grande do Sul (excluindo-se *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze). Apesar de escassos, os valores comparativos estão próximos, salientando-se que o

adequado seria a comparação entre formações florestais similares, e entre espécies sempre que possível.

De modo semelhante ao realizado com o fator de forma, a Análise de Variância entre o volume real, o volume estimado pelos modelos (de acordo com o item 5.3 para a floresta e item 5.5 para *H. alchorneoides*), e o volume estimado através do uso do fator de casca (relacionando o volume real com casca e o fator de casca obtido), demonstrou não haver diferenças significativas para os volumes das espécies agrupadas ($F_{\text{calc}} = 0,01$ e $p = 0,99$), assim como para *H. alchorneoides* ($F_{\text{calc}} = 0,02$ e $p = 0,99$). Apesar dos resultados, procedeu-se com a análise gráfica dos resíduos, a fim de se detectar tendências nas estimativas.

Na Figura 16 denota-se que a maioria dos valores está na faixa entre -10 e 20%, demonstrando uma pequena tendência em superestimar os volumes nas classes de diâmetro abaixo de 20 cm, com pontos ultrapassando 30%. Deste modo, em comparação com a Figura 9, os resíduos se mostraram mais adequadamente distribuídos em torno dos valores reais, com menor amplitude, podendo gerar estimativas de volume de fuste sem casca mais próximas da realidade, sendo, portanto, o uso do fator de casca o mais adequado.

O gráfico dos resíduos para *H. alchorneoides* disposto na Figura 17, demonstra tendência em superestimar os valores de volume de fuste sem casca nas classes inferiores a 20 cm de diâmetro, porém com uma amplitude reduzida para os demais diâmetros entre -10 e 10%. Entretanto a Figura 13, apesar de apresentar uma amplitude maior, demonstra uma distribuição aleatória dos resíduos, sem tendências evidentes, sendo esta uma característica desejável. Portanto a estimativa

a partir do fator de casca para a espécie demonstra ser tendenciosa, sendo preferível o uso do modelo, principalmente no caso de se utilizar amplitudes de diâmetros similares aos indicados neste trabalho.

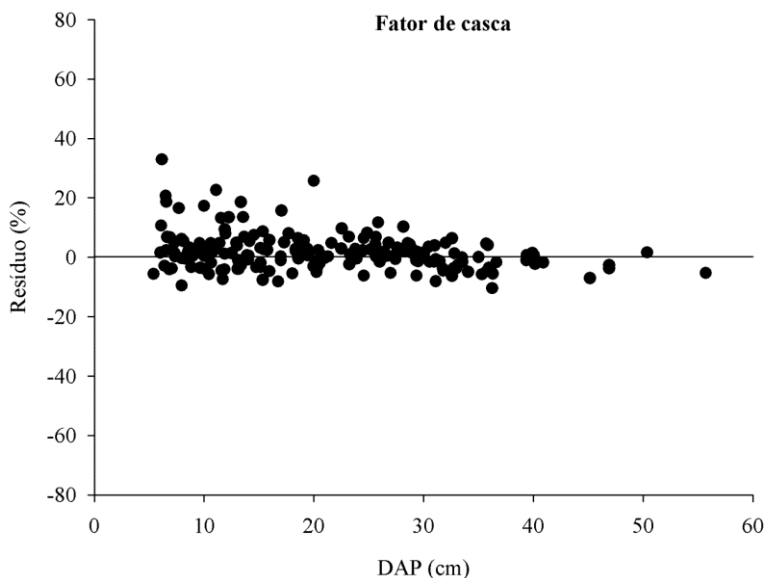


Figura 16. Resíduos percentuais da estimativa do volume de fuste sem casca da floresta a partir do fator de casca, em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

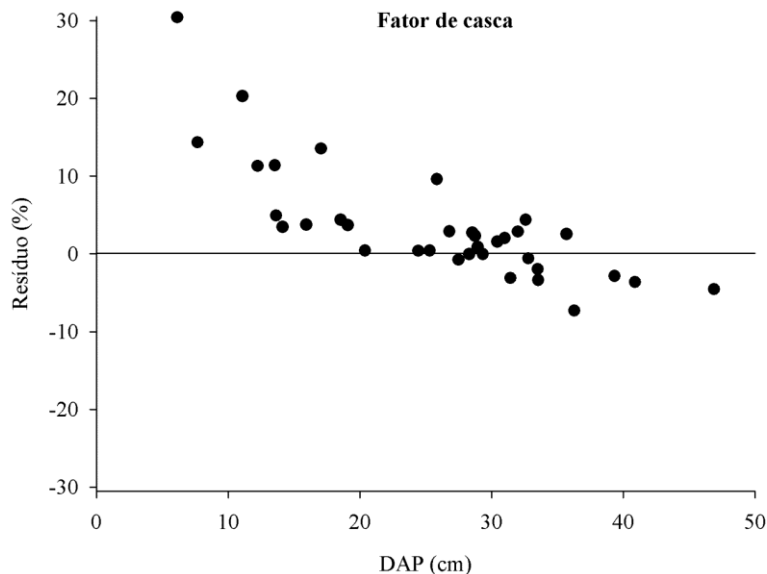


Figura 17. Resíduos percentuais da estimativa do volume de fuste sem casca de *H. alchorneoides* a partir do fator de casca, em função do Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

5.8 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Apesar de Santa Catarina ser bem representada nacionalmente por pesquisas na área florestal, com destaque para as espécies nativas, fato comprovado por ser o primeiro estado do país a concluir seu inventário florístico, ainda carece de um setor de extensão florestal, atualmente suprido por Universidades e instituições não governamentais. As discussões relacionadas à extensão florestal vêm evoluindo, através do Grupo de Trabalho de Política Florestal Catarinense (GT-PEFSC), o qual resultou em um documento referente

às “Diretrizes para a Política Florestal Catarinense” (SANTA CATARINA, 2013).

Visando auxiliar no preenchimento dessa lacuna no estado entorno das florestas nativas, esse item traz informações simplificadas sobre os resultados alcançados, em relação à obtenção de volume da floresta e da espécie abordada individualmente, auxiliando técnicos do setor florestal, em ambas as esferas, tanto executora quanto fiscalizadora. É importante salientar que os resultados são provenientes do local de estudo, com a descrição detalhada no item 4, sendo indicadas para este. No entanto na ausência de informações similares para o restante do estado, sobretudo em relação aos modelos de volume total e de fatores de forma e de casca, os valores podem vir a serem úteis para as estimativas as quais se propõe.

Na Tabela 14 são apresentados os modelos selecionados para os diferentes tipos de volume, e na Tabela 15 estão os fatores de forma e de casca obtidos (foram priorizados os fatores de casca ao quadrado - K^2 , pois são os utilizados diretamente nos cálculos dos volumes sem casca).

Tabela 14. Resumo dos modelos selecionados para os diferentes tipos de volume estimados, com seus respectivos Coeficientes de Determinação ajustados.

| Estimativa | Modelo | R^2_{aj} |
|-------------------|---|------------------------------|
| VTCC - Floresta | $\ln(vt) = -10,045586 + 2,349493*\ln(dap) + 0,640598*\ln(ht)$ | 0,98 |
| VTSC - Floresta | $\ln(vt) = -10,206982 + 2,348857*\ln(dap) + 0,634736*\ln(ht)$ | 0,98 |
| VFCC – Floresta | $\ln(vf) = -9,285656 + 2,100113*\ln(dap) + 0,665269*\ln(hf)$ | 0,99 |
| VFSC – Floresta | $\ln(vf) = -9,504432 + 2,140098*\ln(dap) + 0,637631*\ln(hf)$ | 0,99 |
| VTCC - Licurana | $\ln(vt) = -8,653572 + 2,510792*\ln(dap)$ | 0,98 |
| VTSC - Licurana | $\ln(vt) = -9,133975 + 2,590031*\ln(dap)$ | 0,98 |
| VFCC – Licurana | $\ln(vf) = -8,846189 + 2,053026*\ln(dap) + 0,545081*\ln(hf)$ | 0,99 |
| VFSC – Licurana | $\ln(vf) = -9,374095 + 2,174907*\ln(dap) + 0,521091*\ln(hf)$ | 0,99 |

\ln = Logaritmo natural; vt = volume total (m^3); vf = volume de fuste (m^3); dap = diâmetro à altura do peito (cm); ht = altura total (m); hf = altura de fuste (m); R^2_{aj} = Coeficiente de Determinação Ajustado; VTCC = Volume Total Com Casca; VTSC = Volume Total Sem Casca; VFCC = Volume de Fuste Com Casca e VFSC = Volume de Fuste Sem Casca.

Tabela 15. Resumo dos Fatores de forma normais médios ($f_{1,3}$) e Fatores de casca médios ao quadrado (K^2) obtidos em relação ao volume de fuste.

| Estimativa | Valor |
|---------------------------|--------------|
| Fator de forma - Floresta | 0,8027 |
| Fator de forma - Licurana | 0,7962 |
| Fator de casca - Floresta | 0,8649 |
| Fator de casca - Licurana | 0,8486 |

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pelo presente trabalho, foi possível concluir os seguintes aspectos:

- Por meio de análise de regressão obteve-se bons ajustes dos modelos testados, tanto para estimativas de volume total como de volume de fuste, ambos avaliados com e sem casca;
- Os modelos logarítmicos se mostraram mais adequados aos demais, em ambos os casos analisados;
- Para volume de fuste e total da floresta, assim como para volume de fuste de *H. alchorneoides*, o modelo de Schumacher-hall linearizado (Modelo 3) foi o mais adequado;
- Para volume total de *H. alchorneoides*, o modelo de Husch (Modelo 1) foi o mais adequado;
- O fator de forma normal médio ($f_{1,3}$) obtido para a floresta foi de 0,8027, e para *H. alchorneoides* foi de 0,7962;
- O fator de casca médio (K) obtido para a floresta foi de 0,9301, e de 0,9212 para *H. alchorneoides*;
- As Análises de Variância não apresentaram diferenças significativas entre as estimativas por meio do uso dos modelos, e as realizadas com o uso dos fatores de forma e de fatores de casca. Porém os resíduos demonstraram que as estimativas por meio dos fatores apresentam tendências em superestimar os valores, sendo preferível o uso dos modelos, exceto para o fator de casca para a floresta, que demonstrou um comportamento superior ao modelo;
- As equações obtidas podem ser usadas para subsidiar propostas de manejo de florestas secundárias, da Floresta Ombrófila Densa em

Santa Catarina, considerando a alternativa da conservação pelo uso destas formações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTOSZECK, A. Evolução da distribuição diamétrica e da relação hipsométrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracingais da região metropolitana de Curitiba. 2000. 214 f. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.**

BORSOI, G. A. Subsídios para o manejo de uma floresta ombrófila mista em estágio avançado de regeneração natural. 2005. **Tese de Doutorado em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria.**

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006.** Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm. Acesso em: 19 Jan. 2015.

BRASIL. **Decreto nº 6660, de 21 de Novembro de 2008.** Regulamente dispositivos da Lei nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6660.htm. Acesso em: 19 Jan. 2015.

CARVALHO, S. D. P. C. Estimativa volumétrica por modelo misto e tecnologia laser aerotransportado em plantios clonais de *Eucalyptus sp.* 2013. **Tese de doutorado em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo.**

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003.

CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL - BRASIL. **Hotspots.** Disponível em: <http://www.conservation.org.br/como/index.php?id=8>. Acesso em: 13 Jan. 2015.

DE LUCA, F. V.; FANTINI, A. C.; GÓMEZ, C. U. Agricultura de corte e queima e respostas adaptativas de agricultores familiares como meio de transformação histórica da paisagem em Biguaçu/SC. **5º Encontro de Redes de Estudos Rurais**, 2012.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história ea devastação da Mata Atlântica brasileira**. Companhia das Letras São Paulo, 1996.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de Cabralea canjerana, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 55-66, 2009.

FANTINI, A.; SIMINSKI, A. De agricultor a “agricultor silvicultor”: um novo paradigma para a conservação e uso de recursos florestais no Sul do Brasil. **Agropecuária Catarinense**, v. 20, n. 1, p. 16-18, 2007.

FINGER, C. Medição de Árvores. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período 2011-2012**. São Paulo, p.61, 2013.

GIEHL, E.L.H. (coordenador) 2014. **Flora digital do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://ufrgs.br/floradigital>>. Acesso em: 17 Jan. 2015.

HARTSHORN, G. S. Neotropical forest dynamics. **Biotropica**, p. 23-30, 1980.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration**: Krieger Publishing Company. Malabar. Florida, 1982.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2a Ed. Revisada e ampliada. 2012.

JORGE, L. A. B. Equações de volume comercial com casca em floresta tropical pluvial no norte do Espírito Santo. **Anais do Congresso Brasileiro sobre Essências Nativas**. São Paulo, v.16, n.1, 456-467. 1982.

KLEIN R. M. Mapa Fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. In: Reitz R, editor. **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues; 1978.

LINGNER, D. V. et al. Fitossociologia do Componente Arbóreo/arbustivo da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C. et al. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau – SC: Edifurb. v. 4. p. 159-200. 2012.

LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 15 Jan. 2015.

MACHADO, S. D. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. F. Dendrometria. **Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná**, 2003.

MO, X. X. et al. Traditional forest management has limited impact on plant diversity and composition in a tropical seasonal rainforest in SW China. **Biological conservation**, v. 144, n. 6, p. 1832-1840, 2011.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models: Regression, Analysis of variance, and Experimental Designs**. Irwin Chicago, 3 ed., 1181 p., 1990.

NUNES, M. H. Stem profile modeling in Cerrado and tropical forests formations in Brazil. 2013. **Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo**.

OLLER, D. C. Ecologia e manejo de florestas secundárias dominadas por *Tibouchina pulchra* Cogn. 2011. **Dissertação de Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina**. 90 p.

REIS, M. S. et al. Distribuição da Diversidade Genética e Conservação de Espécies Arbóreas em Remanescentes Florestais de Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C. et al. **Inventário Florístico Florestal de Santa**

Catarina: Diversidade e Conservação dos Remanescentes Florestais. Blumenau – SC: Edifurb. v. 1. p. 143-169. 2012.

RODRIGUES, N. V. O Manejo Tradicional De Roça Itinerante Em Florestas Secundárias: Um Sistema Que Conserva A Biodiversidade? 2015. **Tese de Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina.** 172 p.

SANTA CATARINA (Estado). Grupo de Trabalho de Política Florestal de Santa Catarina (GT-PEFSC). **Diretrizes para a Política Florestal Catarinense.** Florianópolis, 2013.

SANTOS, K. et al. Equações Volumétricas por Classe Diamétrica para Algumas Espécies Folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1, p. pg. 99-112, 2009.

SCHMITZ; H. M. Produção de madeira em florestas secundárias de SC: ecologicamente viável e socialmente desejável. 2013. **Dissertação de Mestrado em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.**

SCHORN, L. A. et al. Síntese da estrutura dos remanescentes florestais em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C. et al. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Diversidade e Conservação dos Remanescentes Florestais.** Blumenau – SC: Edifurb. v. 1. p. 125-140. 2012.

SCHUCH, C.; SIMINSKI, A.; FANTINI, A. C. Usos e potencial madeireiro do jacatirão-açu (*Miconia cinnamomifolia* (de Candolle) Naudin) no litoral de Santa Catarina. **Floresta**, v. 38, n. 4, 2008.

SCHUCH, C. Potencialidades da produção de madeira serrada a partir de três espécies da floresta secundária litorânea catarinense em condições de plantio e em áreas de floresta regenerada naturalmente. 2010. **Dissertação de Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina.** 59 p.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **The annals of statistics**, v. 6, n. 2, p. 461-464, 1978.

SCOLFORO, J.; MELLO, J. D.; LIMA, C. D. A. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Revista Cerne**, v. 1, n. 1, p. 123-134, 1994.

SILVA, J. A. A.; PAULA NETO, F. D. **Princípios básicos de dendrometria**. UFRPE, 1979.

SILVA, J. **Biometria e estatística florestal**. Santa Maria: UFSM, 1977.

SILVEIRA, P. Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa. 2008. **Tese de Doutorado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná**.

SIMINSKI. A floresta do futuro: conhecimento, valorização e perspectivas de uso das formações florestais secundárias no Estado de Santa Catarina. 2009. Florianópolis, SC, **Tese de Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina**, 148 p.

SIMINSKI, A; et al. Recursos florestais nativos e a agricultura familiar em Santa Catarina – Brasil. **Bonplandia**, v. 20, n. 2, p. 371-389, 2011.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; DE SOUZA, A. L. (a) **Dendrometria e inventário florestal**. UFV, 2ed., 2011.

SOARES, C. P. B. et al. (b) Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1039-1051, 2011.

SOUZA, A.; JESUS, R. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES. **Revista árvore**, v. 15, n. 3, p. 257-273, 1991.

URBANO, E. Quantificação e estimativa aérea da biomassa e do carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba. 2007. 140 f. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba**.

VIBRANS, A. C. et al. (a) Extensão original e atual da cobertura florestal de Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C. et al. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Diversidade e Conservação dos Remanescentes Florestais**. Blumenau – SC: Edifurb. v. 1. p. 143-76. 2012.

VIBRANS, A. C. et al. (b) Equações Hipsométricas, Volumétricas e de peso seco para a Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C. et al. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau – SC: Edifurb. v. 4. p. 97-124. 2012.

VISMARA, E. D. S. Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa. 2009. **Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo**.

WEST, P. W. **Tree and forest measurement**. Springer, 2009.